

УДК 551.583:528.8(477.53)

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2025-3-6>

ТЕНДЕНЦІЇ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН І ТОРФ'ЯНІ ПОЖЕЖІ В ПОЛТАВСЬКІЙ ОБЛАСТІ: ВІЗУАЛЬНЕ ЗІСТАВЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ GOOGLE EARTH ENGINE

Мельник Ірина Геннадіївна

кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії, географії та наук про Землю,
ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»,
м. Полтава, Україна
ORCID ID: 0000-0002-5349-0897

Актуальність дослідження. Глобальне потепління становить серйозну загрозу для екосистем, особливо торфовищ, які деградують і пересихають під впливом зростання температур, посух і зниження рівня ґрунтових вод. Це підвищує їх схильність до займання, спричиняючи частіші та інтенсивніші пожежі, що вивільняють вуглець і посилюють парниковий ефект. Від 1960 року глобальний торфовищний біом перетворився з поглинача на джерело парникових газів. В Україні очікується зростання ризиків ландшафтних пожеж із регіональними відмінностями. Полтавська область, де торфовища межують із сільськогосподарськими угіддями та поселеннями, є пріоритетною для дослідження. **Предметом дослідження** є зв'язок між кліматичними змінами та торф'яними пожежами. **Мета** – проаналізувати ці зв'язки в Полтавській області на основі супутникових даних у Google Earth Engine (GEE). **Методологія** включає просторово-часовий аналіз LST, опадів та вологості ґрунтів за даними MOD11A1, CHIRPS і GLDAS (2001–2023), зіставлений із статистикою пожеж на торфовищах (2004–2023). Використання GEE дозволило подолати обмеження традиційних метеостанцій. **Результати** показали стійке зростання LST і зниження вологості ґрунту (особливо 0–10 см), що переважно зворотно корелює з частотою пожеж. Винятком став 2010 рік, коли річна вологість була високою, але сезонна спека призвела до численних пожеж. Наголошено на вагомій ролі антропогенних факторів. **Практичне значення** полягає у створенні основи для прогнозування пожежних ризиків, посилення моніторингу та розроблення стратегій адаптації. **Висновки:** клімат Полтавщини змінюється в бік спекотніших і сухіших умов, що разом із людським впливом істотно підвищує ризики торф'яних пожеж. Рекомендовано комплексний підхід до зниження вразливості екосистем і розроблення детальніших моделей прогнозування. **Перспективи подальших досліджень** – розроблення прогностичних моделей, що враховують сезонну мінливість, антропогенне навантаження та динаміку вологості ґрунту.

Ключові слова: кліматичні зміни, торф'яні нелісові пожежі, Google Earth Engine, дистанційне зондування Землі, Полтавська область, супутниковий моніторинг, температура повітря, опади, вологість ґрунту.

CLIMATE CHANGE TRENDS AND PEAT FIRES IN POLTAVA REGION: VISUAL COMPARISON USING GOOGLE EARTH ENGINE

Melnyk Iryna Hennadiivna

PhD in Geography, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry,
Geography and Earth Sciences,
Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-5349-0897

The relevance of the study. Global warming poses a significant threat to ecosystems, particularly peatlands, which are highly sensitive to hydrological changes and serve as major carbon reservoirs. Under rising temperatures, prolonged droughts, and declining groundwater levels, peatlands degrade and dry out, becoming more prone to spontaneous ignition. These fires release large amounts of stored carbon, intensifying the greenhouse effect and accelerating climate change. Since the 1960s, the global peat biome has shifted from being a carbon sink to a source of greenhouse gases. In Ukraine, landscape fire risks are projected to double, with notable regional disparities. Poltava region, where peatlands are adjacent to agricultural areas and settlements, is a priority for detailed study. **The subject** of this research is the relationship between climate change and peat fires in Poltava region.

The purpose of the research is to analyze this relationship using satellite data via Google Earth Engine (GEE). **Research methodology:** involves a spatio-temporal analysis of key climate indicators (LST, precipitation, and soil moisture) from 2001 to 2023 using MOD11A1, CHIRPS, and GLDAS datasets. Fire statistics for non-forested peatlands from 2004–2023 were compared to satellite data to identify correlations, lag effects, and anomalies. GEE was selected for its computational capacity and access to large geospatial datasets. **The results** revealed a persistent increase in LST and a decline in surface soil moisture (especially 0–10 cm), which mostly correlated inversely with fire frequency. The anomalous year 2010 (high annual moisture and many fires) is explained by masked seasonal droughts and wind effects. Human factors were also emphasized. **Practical significance** lies in improving fire risk forecasting, monitoring strategies, and resilience planning. **Conclusions:** Poltava's climate is becoming hotter and drier, increasing peat fire risks. These are driven by a complex interplay of climatic and anthropogenic factors. A comprehensive approach, including improved monitoring, impact mitigation, and peatland restoration, is required for effective fire risk reduction and regional adaptation. **Prospects for further research:** Further work should focus on developing predictive models incorporating seasonal variability, human activity, and soil moisture dynamics to improve the accuracy of peat fire risk assessments and regional adaptation strategies.

Keywords: climate change, non-forest peat fires, Google Earth Engine, remote sensing, Poltava region, satellite monitoring, land surface temperature, precipitation, soil moisture.

Постановка проблеми. Прискорене глобальне потепління становить серйозний виклик для підтримання стабільного функціонування екосистем, особливо тих, що є чутливими до змін водного балансу. Однією з найуразливіших екосистем є торфовища – унікальні природні утворення, які виконують критичну кліматорегулювальну функцію, слугуючи потужними вуглецевими резервуарами. Крім цього, вони відіграють важливу роль у зберіганні води, пом'якшенні наслідків повеней, покращенні якості води та забезпеченні середовища існування для дикої природи [1]. Зміни клімату справляють як прямий, так і опосередкований вплив на гідрогеологічні системи [2], спричиняють збільшення частоти та інтенсивності пожежонебезпечної погоди, що своєю чергою безпосередньо впливає на динаміку торф'яних пожеж [3].

Під впливом зростання середньорічних температур, подовження посушливих періодів та зниження рівня ґрунтових вод торфовища поступово деградують і пересихають, що значно підвищує їх схильність до самозаймання. Унаслідок глобального потепління частота загорянь збільшується [2; 3; 4], що має численні негативні впливи на довкілля, економіку та здоров'я людей. Своєю чергою торф'яні пожежі вивільняють в атмосферу величезні обсяги накопиченого вуглецю у вигляді парникових газів (CO₂, CH₄ та ін.), а також змінюють властивості поверхні, зокрема альбедо, що в підсумку посилює парниковий ефект і прискорює глобальне

потепління [5; 6], замикаючи це в небезпечне коло зворотного зв'язку. Цей ефект є настільки значущим, що з 1960 року глобальний торфовищний біом перетворився з чистого поглинача на чисте джерело парникових газів, що утворюються з ґрунту [7]. Зміни в режимі пожеж при цьому стають ключовою рушійною силою, яка продовжує погіршувати ситуацію або розширювати проблему [8]. Таким чином, вивчення взаємозв'язків зміни клімату і частоти поширення торф'яних пожеж є критично важливим для прогнозування екологічної реакції, покращення стратегій боротьби з пожежами та оцінення довгострокової стійкості ландшафтів.

Вплив кліматичних змін на торф'яні пожежі не є однорідним, він має виразний просторовий вимір, оскільки глобальні тенденції потепління та зміни режимів опадів опосередковуються місцевою специфікою, що призводить до неоднозначної вразливості в різних регіонах. Попри те, що загальний зв'язок між кліматом і пожежами відомий, просторова мінливість режимів пожеж, їх екологічні та антропогенні рушійні сили залишаються недостатньо вивченими на регіональному та локальному рівнях. Детальне вивчення саме цих рівнів має вирішальне значення, адже дозволяє врахувати місцеву специфіку – гідрогеологічні умови, особливості землекористування та густоти розселення населення, що є ключовим для розроблення ефективних превентивних заходів.

В Україні, за прогнозами вчених, ризики ландшафтних пожеж на наступні 15–20 років зростуть удвічі [9]. Але кліматичні зміни матимуть різну інтенсивність і наслідки в різних регіонах України, залежно від їх географічного положення, ґрунтового покриву та гідрологічних умов [10]. Зокрема, в Полтавській області в останні роки спостерігається помітне коливання кількості й масштабів торф'яних пожеж, що фіксується як екологічними службами, так і місцевими ЗМІ. За даними науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень із цивільного захисту України, всього за період з 2004 по 2023 роки в Полтавській області відбулася 191 пожежа на нелісових торфовищах [11]. Торф'яні масиви на Полтавщині розташовані в безпосередній близькості до сільськогосподарських угідь, поселень та/або транспортної інфраструктури, що багаторазово підвищує загрозу. Пожежі торфовищ спричиняють тривале задимлення, підвищення концентрації дрібнодисперсного пилу в повітрі, спричиняють вторинні екологічні наслідки, що робить регіон пріоритетним для детального вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика кліматичних змін та їх впливу на торф'яні пожежі отримала широке висвітлення в міждисциплінарних дослідженнях останнього десятиліття. Глобальний науковий консенсус вказує на посилення екстремальних погодних явищ, зокрема хвиль тепла, зниження вологості ґрунтів і зростання кількості днів із пожежонебезпечною погодою [3; 12; 13].

Зміни у структурі та гідрологічному балансі торф'яних екосистем під впливом глобального потепління розкриваються в роботах Guzy, Piasecki і Witkowski [2], а також у праці Schultz та ін. [14]. Дослідники підкреслюють посилення схильності торфовищ до займання внаслідок дегідратації. Подібні висновки представлено в більш ранніх дослідженнях Turetsky та ін. і Rein & Huang [4; 15], що акцентують на зв'язку між частотою пожеж і порушенням водного

режиму в умовах зміни клімату. Регіональні аспекти пожежної вразливості та просторової неоднорідності кліматичних ризиків висвітлено в дослідженні Nelson, Thompson, Hopkinson, Petrone і Chasmer [8], де застосовано геопросторові підходи для вивчення пожежної динаміки.

Важливу роль відіграють українські дослідження, що фіксують зміни кліматичних параметрів на регіональному рівні. Зокрема, С. Сніжко, О. Шевченко, Г. Свінцицька проаналізували частоту та інтенсивність хвиль тепла в центральних областях, зазначивши їх чіткий зв'язок із трансформацією кліматичного режиму [16]. У дослідженні вчених А. Наказненко та О. Савченко встановлено стійку тенденцію до потепління в Полтавській області в період 1991–2019 років порівняно з кліматичною нормою 1961–1990 років, а також збільшення тривалості спекотних періодів [17]. Значний внесок у практичне вивчення кліматичних ризиків зроблено в аналітичній доповіді колективу вчених Національного інституту стратегічних досліджень [9], де систематизовано сценарії змін клімату для України й наголошено на необхідності адаптаційних заходів у регіонах з підвищеним ризиком торф'яних і ландшафтних пожеж. Ці висновки підтверджуються моделями прогнозування клімату в роботі Л. Малицької та В. Балабух [10], де вказано на потенційне подвоєння кількості пожежонебезпечних днів до середини XXI століття. Щодо структури поверхні та її впливу на кліматичні показники важливим є дослідження Л. Писаренко та С. Краковської [18], де обґрунтовано необхідність урахування змін підстильної поверхні в моделюванні кліматичних процесів.

У методологічному аспекті дослідження базується на практиці супутникового моніторингу з використанням хмарної платформи Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), описаної у Kumar і Mutanga [19]. Технічне підґрунтя для використаних супутникових датасетів (MOD11A1, CHIRPS, GLDAS) надано

в роботах Funk et al. [20] та Balas et al. [21], які демонструють високу ефективність використання індексу LST для оцінювання регіонального потепління.

Незважаючи на значний обсяг наявних праць, присвячених впливу кліматичних змін на екосистеми торфовищ, багато аспектів цього явища залишаються недостатньо вивченими, особливо на регіональному та локальному рівнях. Зокрема, в умовах Полтавської області відсутній просторово-часовий аналіз супутникових даних (температури поверхні, опадів, вологості ґрунтів), який дозволяв би виявити кореляції з частотою та інтенсивністю торф'яних пожеж. Наявні праці здебільшого базуються на наземних метеорологічних вимірюваннях, що мають обмежене територіальне покриття й не враховують просторову неоднорідність кліматичних і екологічних умов. Водночас комплексне використання супутникових даних, зокрема платформ на зразок Google Earth Engine, залишається поодиноким, а в контексті Полтавського регіону – практично не реалізованим. Крім того, в дослідженнях рідко враховується взаємозв'язок між кліматичними індикаторами та статистикою пожеж на нелісових торфовищах, хоча саме ці території є критично вразливими до займання в умовах підвищеної температури та зниження вологості. Відсутність кореляційного та візуального аналізу між супутниковими кліматичними рядами і частотою пожеж ускладнює розуміння механізмів загоряння та прогнозування ризиків.

Мета дослідження. Метою дослідження є аналіз взаємозв'язку між кліматичними змінами та торф'яними пожежами в Полтавській області на основі супутникових даних за допомогою Google Earth Engine. Конкретними цілями були: 1) зібрати та обробити супутникові кліматичні дані щодо температури поверхні землі (LST), кількості опадів, вологості ґрунтів для території Полтавської області за період 2001–2023 рр. за допомогою платформи Google Earth Engine; 2) провести просторово-часовий аналіз і візуалізацію динаміки вказаних кліматичних

індикаторів із використанням супутникових датасетів MOD11A1, CHIRPS та GLDAS; 3) проаналізувати статистику торф'яних пожеж на нелісових землях Полтавської області за 2004–2023 рр., узяті з офіційних джерел (ІДУ НД ЦЗ); 4) візуально зіставити динаміку кліматичних індикаторів із частотою торф'яних пожеж, виявити можливі кореляції, лаг-ефекти, а також аномальні роки з розривом тенденцій.

Матеріали і методи дослідження. З огляду на те, що в Полтавській області просторове покриття традиційних метеорологічних станцій часто обмежується точковими вимірюваннями, дистанційне зондування Землі долає ці просторові обмеження, надаючи всебічну теплову карту всієї території. Вибір Google Earth Engine (далі – GEE) як основного інструменту пропонованого дослідження зумовлений численними перевагами цієї платформи. GEE – це потужне хмарне середовище для аналізу геопросторових та супутникових даних, що має численні переваги [22]. Платформа надає доступ до великої кількості готових шарів даних, деякі з яких уже відкориговані (наприклад, видалено хмарність) та перетворені у відбиття верхньої частини атмосфери, поверхневу відбиваність і географічно прив'язані. Крім того, GEE підтримує обмін комп'ютерними кодами, що дозволяє користувачам працювати з платформою, навіть не володіючи глибокими знаннями мов програмування JavaScript або Python [19]. Відзначимо, що GEE використовує передові методи моделювання даних та переведення їх у формат карт і графіків і дозволяє аналізувати дані на рівні області та країни за лічені хвилини. В Україні відсутні локальні платформи з аналогічною обчислювальною потужністю. GEE дозволяє порівнювати локальні тренди з глобальними – це важливо, оскільки кліматичні зміни в Україні мають і регіональні, і глобальні причини.

Для отримання комплексної картини кліматичних змін та візуального зіставлення їх з частотою пожеж на торфовищах Полтавської області було використано такі основні

індикатори: 1) мінімальні та максимальні значення температури поверхні землі (Land Surface Temperature, LST); 2) кількість опадів; 3) вологість ґрунтів за визначений період.

Мінімальні та максимальні значення температури поверхні землі для Полтавської області у 2001–2024 роках, отримані за допомогою Google Earth Engine, становлять фундаментальну основу цього дослідження. LST – це температура поверхні ґрунту або рослинного покриву, яка визначається за допомогою технологій дистанційного зондування, зокрема теплових інфрачервоних сенсорів на супутниках. На відміну від температури повітря, що згідно з міжнародним стандартом ВМО вимірюється на метеостанціях на висоті 2 метрів над поверхнею землі, LST безпосередньо відображає теплові умови, які «відчувають» ґрунт і рослини. Крім того, температура поверхні тісно пов'язана з фізичними характеристиками земної поверхні, як-от альbedo, структура земного покриву, випромінювальна здатність і типи землекористування [21]. Завдяки LST можна досліджувати взаємодію між поверхнею землі, атмосферою та кліматом, а також виявляти довгострокові тренди потепління й зростання частоти екстремальних температурних подій, що є ключовими індикаторами регіональних проявів глобальних кліматичних змін.

Кількість опадів виступає одним із ключових факторів, які впливають на зволоженість ґрунтів та рослинності. Волога поглинає частину теплової енергії, що знижує ймовірність займання органічних матеріалів [23]. Важливо звертати увагу і на сезонний розподіл опадів, оскільки високі річні значення можуть маскувати локальні чи сезонні посухи. Зменшення кількості опадів, особливо в літній період, сприяє розвитку посушливих умов і збільшує ризики пожеж.

Вологість ґрунтів, зокрема торф'яних, є критично важливим показником для оцінювання як імовірності займання, так й інтенсивності поширення торф'яних пожеж [15]. Цей індикатор також визначає глибину й ступінь горіння [8]. Показник вологості ґрун-

тів відображає баланс між кількістю опадів, випаровуванням і температурним режимом, що дозволяє оцінити реальний вплив кліматичних змін на стан екосистем і пожежну небезпеку.

Період для спостереження – з 2001 по 2023 рр. – визначався наявністю доступних на момент дослідження часових рядів за трьома кліматичними показниками та даними частоти пожеж на нелісових торфовищах у Полтавській області за 2004–2023 роки.

Джерелом інформації для часового та просторового моніторингу максимальної температури поверхні землі в межах Полтавської області слугував доступний у каталогі GEE набір даних (датасет) *TerraClimate*.

Дані максимальних температур для просторового аналізу поверхні землі для Полтавської області вилучалися таким чином:

- межі Полтавської області було визначено за допомогою *FAO/GAUL/2015/level2* шляхом їх фільтрування за назвою '*Poltavska*';

- використано набір даних *TerraClimate (IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE)* для вилучення максимальних температур (tmmx) за 1970 рік, а потім – за іншими роками (*filter.date*);

- отримані дані було обрізано до меж Полтавської області, переведено в °C (шляхом множення на 0,1) та відображено на карті з відповідною колірною палітрою. Було створено такі карти для всіх років в інтервалі 2001–2024 рр. для візуалізації змін температур поверхні.

Для побудови графіка динаміки максимальних і мінімальних температур поверхні землі (LST) у межах Полтавської області за визначений період було вивантажено датасет *MOD11A1 V6 Terra Температура Поверхні Землі та Випромінювальна здатність, Глобальний 1 км*, що забезпечує моніторинг добової температури поверхні землі (LST) і значення випромінювання з просторовим розрізненням 1200 × 1200 км (містить дані, починаючи з 2000 року).

Для оцінювання розподілу опадів за роками в регіоні застосовано датасет

CHIRPS з каталогу GEE. Унікальність *CHIRPS* полягає у злитті двох типів даних: супутникових даних і даних наземних метеорологічних станцій, останні допомагають коригувати потенційні систематичні похибки супутникових даних [20]. *CHIRPS* охоплює супутникові зображення з роздільною здатністю $0,05^\circ$ з даними стаціонарних пунктів. Безпосередньо було використано компонент «*Pentad: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data (Version 2.0 Final)*», що містить 30-річний набір даних про опади.

Для оцінення вологості ґрунту на різних глибинах (10, 40 та 100 см) завантажувались дані датасету GLDAS версії *GLDAS-2.1: Global Land Data Assimilation System* (Глобальна система асиміляції земельних даних). Для імпортованих даних вибирався часовий період 2001 р. по 2023 р., потім вони фільтрувались за трьома показниками вологості ґрунту.

Далі кліматичні часові ряди геопросторових даних було трансформовано на платформі Google Earth Engine у графіки з використанням вбудованих функцій візуалізації та шляхом налаштування параметрів відображення графіка.

Динаміку зазначених вище показників, подану в графічному форматі, було зіставлено з багаторічною статистикою пожеж на нелісових торфовищах у Полтавській області. Джерелом статистики пожеж слугували дані Відділу досліджень, статистики пожеж та надзвичайних ситуацій науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ). Відзначимо, що статистика пожеж нелісових торфовищ реєструється окремо від лісових з важливих причин, які стосуються їх природи, динаміки, наслідків, методів моніторингу та управління, а також законодавчої та регуляторної бази.

Основний матеріал. Отримані в результаті оброблення супутникових даних графіки дали змогу виявити низку важливих закономірностей, які наведено та проаналізовано нижче.

Графік на рисунку 1 ілюструє щоденну динаміку мінімальних і максимальних значень температури поверхні землі (LST) у Полтавській області за період 2001–2023 рр. Мінімальні значення позначено червоним кольором, максимальні – синім. Дані отримано на основі супутникового продукту MODIS (LST_Day_1km). Добові значення подано у вигляді точок, а середньорічні тренди – суцільними лініями відповідного кольору.

Аналіз даних LST за 2001–2023 роки свідчить, що на тлі природних міжрічних коливань клімату, характерних для регіону, простежується загальний довгостроковий тренд до підвищення температури земної поверхні (як за мінімальними, так і за максимальними значеннями) в межах Полтавської області.

Хоча це потепління може видаватися помірним, воно є статистично стійким і вказує на формування кліматичного сигналу, що виходить за межі типової природної мінливості. Це своєю чергою підвищує ризики пересушування торфовищ, перегріву поверхні й підвищення ризику загоряння.

На рисунку 2 представлено серію карт, що ілюструють просторову та часову динаміку середньорічних максимальних температур поверхні в Полтавській області (роздільна здатність – 1 км). Діапазон температур від $8,0^\circ\text{C}$ (темно-синій) до $16,0^\circ\text{C}$ (темно-червоний) дає змогу оцінити зміни кліматичних умов у регіоні. Візуальне порівняння карт дозволяє побачити переважання тепліших кольорів (насичений жовтий, помаранчевий, червоний, що відповідають $12,0$ – $16,0^\circ\text{C}$) на картах останніх років (2015–2024) порівняно з першим десятиліттям (2001–2010), де домінують виражено теплі й навіть холодні ($8,0$ – $12,0^\circ\text{C}$) відтінки. Також фіксується частішання років із температурами $14,0$ – $16,0^\circ\text{C}$ у другому (2011–2020) та третьому (2021–2024) десятиріччях.

Розподіл температур, що видно з візуального аналізу карт, демонструє і регіональні відмінності: південні райони Полтавської області частіше мають вищі значення ($13,0$ – $16,0^\circ\text{C}$), тоді як північні – ближчі до

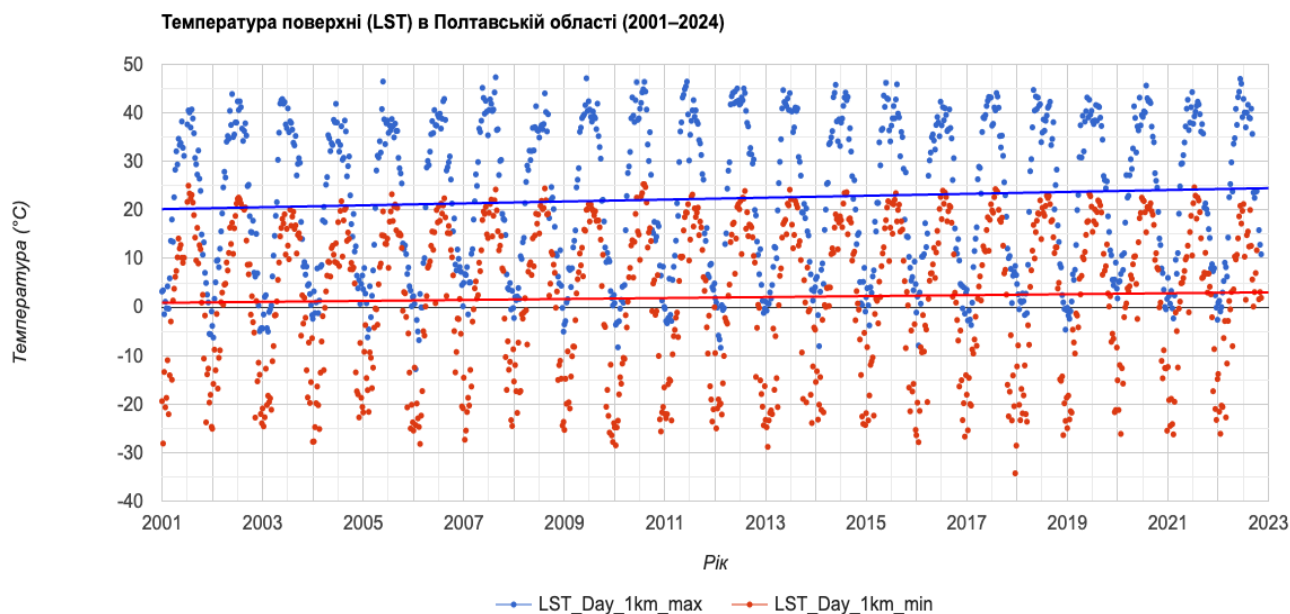


Рис. 1. Зміна максимальної та мінімальної температури поверхні землі (LST) у Полтавській області (2001–2023, MODIS MOD11A1.061, 1 км)

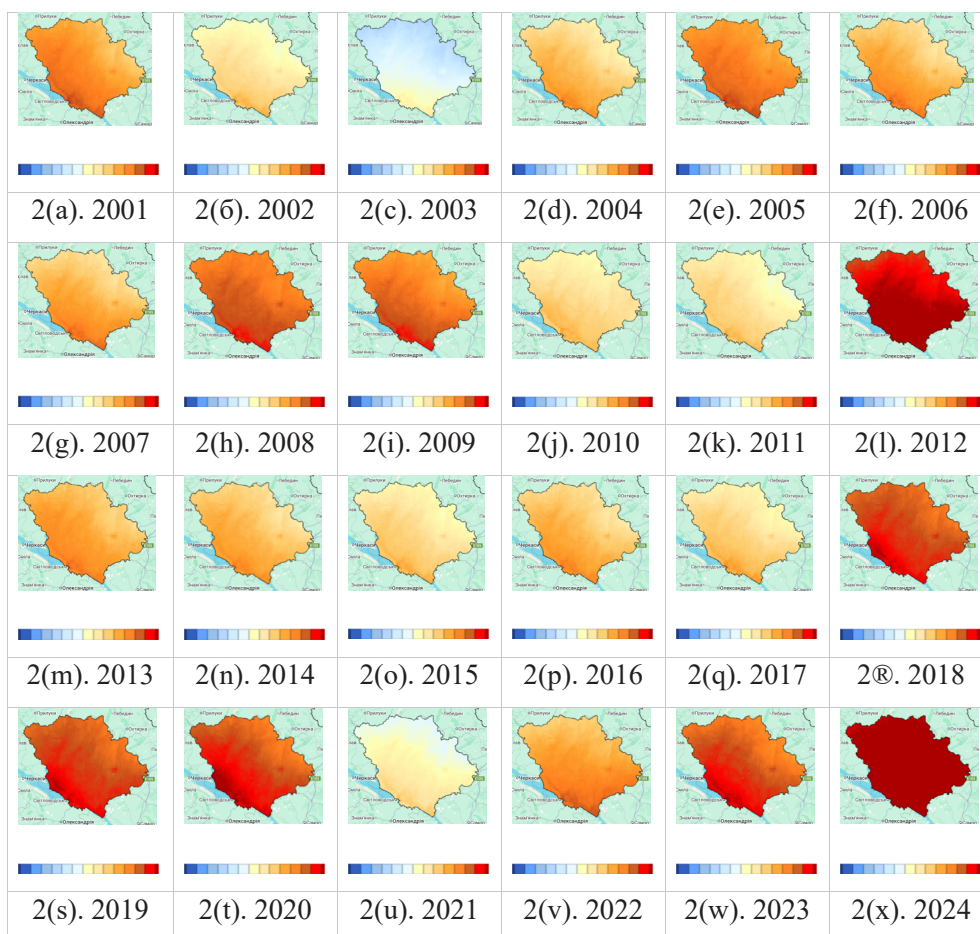


Рис. 2. (2(a)–2(x)). Просторово-часовий зріз середньорічних максимальних температур поверхні (8,0–16,0°C) у Полтавській області (2001–2024 рр.) на основі датасету MOD11A1.061 Terra Land Surface Temperature. Дані: NASA MODIS, оброблення в GEE

8,0–12,0°C, особливо в ранні роки. У період 2015–2024 років зони з температурами 14,0–16,0°C розширюються, що свідчить про нерівномірне, але помітне потепління по всій території. Ці візуальні дані (додатково до графіку з рис. 1) дають підстави припустити, що відбувається поступове підвищення температур.

Отримані для Полтавської області результати (поступове підвищення середньорічних максимальних температур, частішання спекотних років) узгоджуються з глобальними кліматичними моделями, що фіксують поте-

пління через підвищення концентрації парникових газів. Це підтверджується роботами IPCC (Міжурядова група експертів зі зміни клімату), зокрема в їхніх звітах [12].

Графік розподілу кількості опадів за роками (рис. 3), побудований на основі даних датасету CHIRPS із каталогу Google Earth Engine (GEE), дозволив відстежити періоди аномально низьких опадів, які потенційно призводять до висушування торфовищ і зростання ризику пожеж. Зіставлення цього графіка з графіком частоти пожеж дозволяє виявити роки, коли спо-

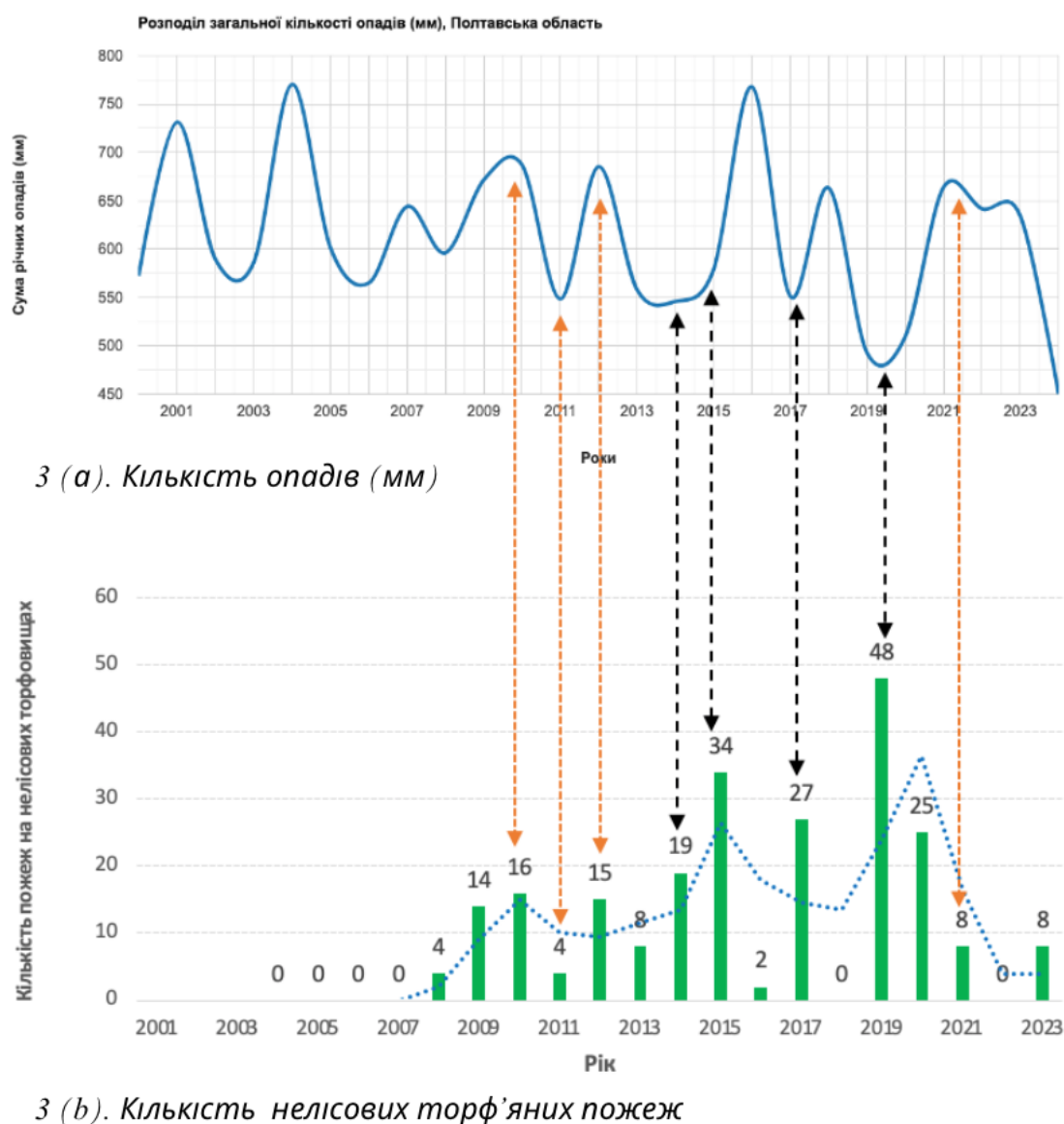


Рис. 3. Залежність між річною сумою опадів (а) і кількістю пожеж на нелісових торфовищах у Полтавській області (2004–2023), за даними CHIRPS (оброблення в GEE) та ДСНС

Примітка: чорними стрілками позначено роки з вираженим зв'язком між опадами та пожежами, червоними – роки зі слабким або відсутнім зв'язком

стерігається сильна кореляція між опадами та частотою пожеж (особливо для 2015, 2017 і 2019 років, коли низькі опади корелювали зі сплесками пожеж). Разом із тим відзначимо і періоди з її слабким проявом (наприклад, 2010, 2012 і 2021, де висока кількість опадів не запобігла виникненню пожеж).

Низька або відсутня кореляція в окремі роки може бути зумовлена лаг-ефектом і нелінійним зв'язком між опадами та пожежами, що підтверджується дослідженнями екологічної динаміки торф'яних систем [4]. Вологість торфу залежить від попередніх опадів і може призводити до затримки на 1–2 роки перед спалахом пожеж. Торф'яні пожежі можуть тліти під землею протягом тривалого часу, і їх виявлення та реєстрація можуть не завжди точно збігатися з піковими періодами сухості.

Також на результати кореляційного аналізу впливає специфіка джерела даних щодо кількості опадів, зафіксованих CHIRPS (яке відображає загальну вологість, але не враховує сезонні відмінності). У такі роки слабого зв'язку це може бути наслідком локальних посух, не зафіксованих у середньорічних значеннях. Так, 2010 рік демонструє на рис. 3 низьку кореляцію: попри високі обсяги опадів, пожежі все ж відбулися. Але саме літо 2010 року фахівці Полтавського обласного центру з гідрометеорології визначили як рекордне за кількістю днів з температурою 30° та вище за останні 100 років [24]. Незвична спекотна погода спостерігалась майже на всій її території понад місяць (хвиля тепла кінця липня – серпня [25, с. 5], що призвело до збільшення показників пожежної небезпеки до рівня, не характерного для Полтавської області.

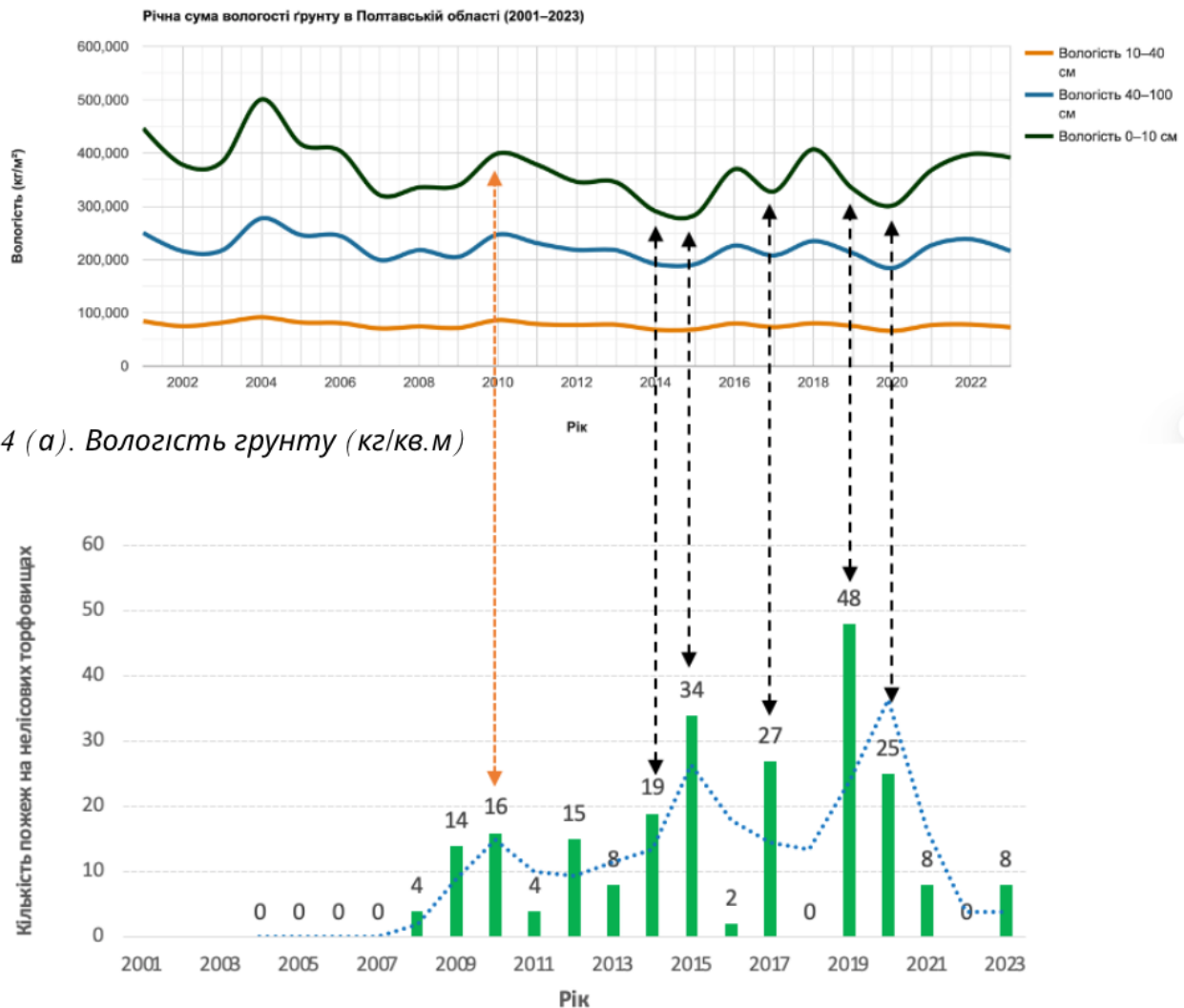
Графік на рис. 4, створений на основі GLDAS-2,1, відображає річні суми вологості ґрунту на глибинах 10, 40 і 100 см для періоду 2001–2023 роки для Полтавської області. Оскільки торф'яні пожежі часто пов'язані з висиханням ґрунту, особливо на поверхневих шарах, дані на глибині 10 см є найбільш релевантними (поверхневий шар

швидше реагує на зміни кліматичних умов, таких як посухи чи високі температури). Поверхневий шар (0–10 см) має і найбільшу мінливість.

Візуальний аналіз двох графіків демонструє здебільшого зворотну кореляцію: коли вологість ґрунту знижується, кількість пожеж зазвичай зростає, і навпаки. Основні спостереження, що підтверджують зворотну кореляцію, відзначені на рис. 4 чорними стрілками. Так, у 2015 році спостерігається значне падіння вологості ґрунту у всіх шарах, що корелює з різким стрибком кількості пожеж до 34. У 2017 році вологість ґрунту знову знижується, і це збігається зі зростанням кількості пожеж до 27. У 2019 році різке падіння вологості ґрунту збігається з піковим значенням пожеж за весь період – 48 випадків. Одне з найнижчих за період спостережень значень вологості ґрунту зафіксовано у 2020 році, воно також супроводжується високою кількістю пожеж (25).

Винятком із загальної кореляції (позначено червоною стрілкою) є 2010 рік. На графіку вологості ґрунту видно, що рівень вологи у 2010 році був порівняно високим, навіть вищим, ніж у деякі роки з меншою кількістю пожеж (наприклад, 2011, 2012 рр.). Проте кількість пожеж у 2010 році була досить значною – 16 випадків. Це може мати таке пояснення: річні середні значення, представлені на графіку, можуть маскувати сезонні посухи, які є ключовими для виникнення пожеж. Так, потужна хвиля тепла (кінець липня – серпень 2010 року) призвела до того, що запаси вологи в метровому шарі ґрунту на більшій частині території Полтавської області були близькі до нуля.

Відзначимо, що висихання верхніх шарів ґрунту може відбуватися і через вітер. Індивідуальна пожежа є завжди результатом складного набору взаємодій, що охоплюють горючі матеріали та їх стан, запалювальні речовини, топографію та погодні умови, як-от температура, відносна вологість, швидкість вітру, а також кількість і частота опадів [13]. Крім того, важливо враховувати значний вплив антропогенного фак-



4 (б). Кількість нелісових торф'яних пожеж

Рис. 4. Зв'язок між річною вологістю ґрунту на різних глибинах (а) та кількістю пожеж на нелісових торф'яниках (б) у Полтавській області у 2001–2023 рр.

Примітка: чорні пунктирні лінії позначають роки з підвищеною пожежною активністю та одночасно низькими показниками вологості ґрунту, що підтверджує обернену кореляцію. Червона пунктирна лінія ілюструє рік, в якому спостерігається зростання кількості пожеж, попри відносно високу вологість ґрунту, що вказує на можливий вплив інших факторів

тора. Навіть за відносно сприятливих природних умов людська недбалість або такі практики, як спалювання сухої рослинності, можуть стати безпосередніми причинами займання торфовищ. Для України додатковим чинником підвищення пожежної небезпеки виступає повномасштабна війна, яка триває та не лише ускладнює реагування на спалахи вогню, але й сама по собі може провокувати загоряння внаслідок обстрілів, детонацій чи руйнування гідрологічної інфраструктури [26].

Висновки. Аналіз середньорічних максимальних температур, опадів та вологості ґрунтів у Полтавській області за період 2001–2023 рр. свідчить про наявність стійкої тенденції до потепління. Цей висновок підтверджується як супутниковими спостереженнями, так і наземними метеорологічними даними. Отримані результати узгоджуються з глобальними кліматичними моделями та демонструють регіональні прояви змін клімату, характерні для лісостепових районів України.

Проведене дослідження підтверджує, що торф'яні пожежі в Полтавській області є результатом складної взаємодії кліматичних факторів та антропогенного впливу. Графічний аналіз показав загальну зворотну залежність між річною кількістю опадів і кількістю пожеж, однак у деякі роки (зокрема, 2010) зв'язок був порушений, що свідчить про важливість урахування сезонної динаміки та додаткових чинників.

Зниження річної суми вологості ґрунту, особливо в поверхневих шарах (0–10 см), корелює зі зростанням кількості пожеж. Найнижчі показники вологості ґрунту, зафіксовані у 2020 році, супроводжувалися значною кількістю пожеж, що підкреслює критичну роль вологості ґрунту як індикатора пожежної небезпеки. Водночас випадок 2010 року, коли порівняно висока річна вологість ґрунту супроводжувалася значною кількістю пожеж, указує на обмеження використання лише річних агрегованих даних. Це підкреслює важливість урахування сезонних аномалій, як-от інтенсивні хвилі тепла (наприклад, літо 2010 року), які можуть призводити до критичного пересихання ґрунтів навіть за умови достатніх річних опадів. Крім того, висихання верхніх шарів ґрунту може посилюватися впливом вітру та іншими природними факторами.

Найважливішим доповненням до розуміння динаміки пожеж є антропогенний фактор. Незважаючи на природні передумови, переважна більшість пожеж в Україні, за даними ДСНС, спричинена людською діяльністю. Така практика, як спалювання сухої рослинності для розчищення земель, є дешевою, але надзвичайно небезпечною, оскільки осушений торф стає вкрай вразливим до займання навіть від невеликого дже-

рела іскри. Це означає, що навіть за відносно сприятливих кліматичних умов людська діяльність може стати безпосередньою причиною масштабних пожеж.

Таким чином, для ефективного прогнозування та запобігання торф'яним пожежам у Полтавській області необхідно застосовувати комплексний підхід, що включає:

- посилений моніторинг кліматичних показників (LST, опади, вологість ґрунту) з акцентом на короткострокові та сезонні аномалії, а не лише на річні середні значення;
- урахування просторової неоднорідності кліматичних змін та їх впливу на різні ділянки торфовищ;
- розроблення та впровадження превентивних заходів, спрямованих на мінімізацію антропогенного впливу, включаючи підвищення обізнаності населення, посилення контролю за спалюванням сухої рослинності та розробки альтернативних, безпечних методів землекористування;
- відновлення осушених торфовищ та заборону їх подальшого осушення, що сприятиме підвищенню рівня вологості та зниженню пожежних ризиків.

Застосування Google Earth Engine виявилось ефективним інструментом для проведення цього дослідження, дозволивши обробляти великі обсяги супутникових даних та візуалізувати складні просторово-часові тенденції, що є критично важливим для регіонів з обмеженим наземним моніторингом. Подальші дослідження мають бути спрямовані на більш глибокий статистичний аналіз кореляції між кліматом і пожежами та розроблення більш детальних прогностичних моделей, які враховуватимуть усі виявлені фактори для підвищення стійкості регіону до кліматичних змін та пожеж.

Література

1. Price J. S., Sutton O. F., McCarter C.P.R., Quinton W. L., Waddington J. M., Whittington P. N., Strack M., Petrone R. M. Advances in wetland hydrology: the Canadian contribution over 75 years. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*. 2023. Vol. 48. P. 379–427. DOI: <https://doi.org/10.1080/07011784.2023.2269137>.
2. Guzy A., Piasecki A., Witkowski W. T. Climate change and shallow aquifers – Unravelling local hydrogeological impacts and groundwater decline-induced subsidence. *Remote Sensing of Environment*. 2025. Vol. 321. P. 114682. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114682>.

3. Jones M., Abatzoglou J., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A., Burton C., Betts R., Werf G., Sitch S., Canadell J., Santín C., Kolden C., Doerr S., Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*. 2022. Vol. 60. P. e2020RG000726. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>.
4. Turetsky M. R., Kane E. S., Harden J. W., et al. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8, № 1. P. 11–14. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1132075?utm_source=chatgpt.com.
5. Randerson J. T., et al. The impact of boreal forest fire on climate warming. *Science*. 2006. Vol. 314, № 5802. P. 1130–1132. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1132075>.
6. Ward D. S. [et. al.] The changing radiative forcing of fires: global model estimates for past, present and future. *Atmos. Chem. Phys.* 2012. Vol. 12. № 23. P. 10857–10886. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-12-10857-2012>.
7. Leifeld J., Wüst-Galley C., Page S. Intact and managed peatland soils as a source and sink of GHGs from 1850 to 2100. *Nature Climate Change*. 2019. Vol. 9. P. 945–947. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0615-5>.
8. Nelson K., Thompson D., Hopkinson C., Petrone R., Chasmer L. Peatland-fire interactions: A review of wildland fire feedbacks and interactions in Canadian boreal peatlands. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 769. P. 145212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.145212>.
9. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / С.П. Іванюта та ін. ; за ред. С.П. Іванюти. Київ : НІСД, 2020. 110 с.
10. Малицька Л.В., Балабух В.О. Ймовірні зміни кліматичних умов України до середини ХХІ ст. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. № 1(56). С. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.10>.
11. Мельник І.Г. Використання супутникових даних для моніторингу та аналізу торф'яних пожеж на прикладі Полтавської області (серпень – листопад 2024 року). *Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки*. 2025. № 1. С. 125–133. <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.18>.
12. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report / IPCC. Женева: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (дата звернення: 25.07.2025).
13. Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*. 2000. Vol. 262, № 3. P. 221–229. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6).
14. Schultz S., Millard K., Darling S., Chénier R. Investigating the use of Sentinel-1 for improved mapping of small peatland water bodies: towards wildfire susceptibility monitoring in Canada's boreal forest. *Hydrology*. 2023. Vol. 10, № 5. P. 102. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology10050102>.
15. Rein G., Huang X. Smouldering wildfires in peatlands, forests and the Arctic: Challenges and perspectives. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2021. Vol. 24. P. 100296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100296>.
16. Сніжко С., Шевченко О., Свінціцька Г. Хвилі тепла в центральних областях України за умов сучасних змін клімату. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2019. № 2 (39). С. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2018.39.58-62>.
17. Наказненко А.Г., Савченко О.Г. Зміни термічного режиму Полтавської області в умовах зміни клімату. *Конструктивна географія та раціональне використання природних ресурсів*. 2021. Вип. 1(1). С. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2018.39.58-62>.
18. Писаренко Л.А., Краковська С.В. Основні напрямки сучасних досліджень взаємодії клімату і підстильної поверхні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. Вип. 25. С. 38–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.04>.
19. Kumar L., Mutanga O. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10. № 10. P. 1509. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10101509>.
20. Funk C., Peterson P., Landsfeld M., et al. The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*. 2015. Vol. 2. P. 150066. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
21. Balas D., Duda M., Tiwari M. K., Trivedi M., Patel G. Impact of Land Surface Temperature (LST) and Ground Air Temperature (Tair) on Land Use and Land Cover (LULC): An Investigative Study. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Vol. 13. P. 3117–3130. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i102980>.
22. Pham-Duc B., Nguyen H., Phan H., Tran-Anh Q. Trends and applications of Google Earth Engine in remote sensing and earth science research: a bibliometric analysis using Scopus database. *Earth Science Informatics*. 2023. Vol. 16. P. 2355–2371. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01035-2>.

23. Hu Y., Christensen E. G., Amin H. M. F., Smith T. E. L., Rein G. Experimental study of moisture content effects on the transient gas and particle emissions from peat fires. *Combustion and Flame*. 2019. Vol. 209. P. 408–417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.07.046>.

24. Полтавський обласний центр з гідрометеорології. Найсухіше літо за останні 100 років: пожежна небезпека перевищує 35 000. *Facebook*. 2024. 29 серпня. URL: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=877725267299782> (дата звернення: 28.07.2025).

25. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна / ред. М. Ставнюк. Київ : Національний екологічний центр України, 2012. 60 с. URL: https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf (дата звернення: 25.07.2025).

26. Leal Filho, W., Fedoruk, M., Pires Eustachio, J. H. P., Splodytel, A., Smaliychuk, A., & Szykowska-Jóźwik, M. I. The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 364. P. 121399. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>.

References

1. Price, J. S., Sutton, O. F., McCarter, C. P. R., Quinton, W. L., Waddington, J. M., Whittington, P. N., Strack, M., & Petrone, R. M. (2023). Advances in wetland hydrology: The Canadian contribution over 75 years. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 48, 379–427. [10.1080/07011784.2023.2269137](https://doi.org/10.1080/07011784.2023.2269137) [in English].

2. Guzy, A., Piasecki, A., & Witkowski, W. T. (2025). Climate change and shallow aquifers – Unravelling local hydrogeological impacts and groundwater decline-induced subsidence. *Remote Sensing of Environment*, 321, 114682. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114682> [in English].

3. Jones, M., Abatzoglou, J., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Smith, A., Burton, C., Betts, R., Werf, G., Sitch, S., Canadell, J., Santín, C., Kolden, C., Doerr, S., & Le Quéré, C. (2022). Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*, 60, e2020RG000726. <https://doi.org/10.1029/2020RG000726> [in English].

4. Turetsky, M. R., Kane, E. S., Harden, J. W., et al. (2015). Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*, 8(1), 11–14. <https://doi.org/10.1038/ngeo2325>

5. Randerson, J. T., et al. (2006). The impact of boreal forest fire on climate warming. *Science*, 314(5802), 1130–1132. <https://doi.org/10.1126/science.1132075> [in English].

6. Ward, D. S., et al. (2012). The changing radiative forcing of fires: Global model estimates for past, present and future. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(23), 10857–10886. <https://doi.org/10.5194/acp-12-10857-2012> [in English].

7. Leifeld, J., Wüst-Galley, C., & Page, S. (2019). Intact and managed peatland soils as a source and sink of GHGs from 1850 to 2100. *Nature Climate Change*, 9, 945–947. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0615-5> [in English].

8. Nelson, K., Thompson, D., Hopkinson, C., Petrone, R., & Chasmer, L. (2021). Peatland-fire interactions: A review of wildland fire feedbacks and interactions in Canadian boreal peatlands. *Science of the Total Environment*, 769, 145212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.145212> [in English].

9. Ivaniuta, S. P., Kolomiiets, O. O., Malynovska, O. A., & Yakushenko, L. M. (2020). Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptatsii: Analitichna dopovid [Climate change: Impacts and adaptation measures: Analytical report]. Kyiv: NISS. [in Ukrainian].

10. Malytska, L. V., & Balabukh, V. O. (2020). Ymovirni zminy klimatichnykh umov Ukrainy do seredyny XXI st. [Probable changes of climatic conditions of Ukraine until the middle of the XXI century]. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 1(56), 94–100. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.10> [in Ukrainian].

11. Melnyk, I. H. (2025). Vykorystannia suputnykovykh danykh dlia monitorynhu ta analizu torfianykh pozhezh na prykladi Poltavskoi oblasti (serpen–lystopad 2024 roku) [The use of satellite data for monitoring and analyzing peat fires: A case study of Poltava region, August–November 2024]. *Slobozhanskyi Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*, 1, 125–133. <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.18> [in Ukrainian].

12. IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved July 25, 2025, from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> [in English].

13. Flannigan, M. D., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2000). Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 262(3), 221–229. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00524-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00524-6) [in English].

14. Schultz, S., Millard, K., Darling, S., & Chénier, R. (2023). Investigating the use of Sentinel-1 for improved mapping of small peatland water bodies: Towards wildfire susceptibility monitoring in Canada's boreal forest. *Hydrology*, 10(5), 102. <https://doi.org/10.3390/hydrology10050102> [in English].

15. Rein, G., & Huang, X. (2021). Smouldering wildfires in peatlands, forests and the Arctic: Challenges and perspectives. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 24, 100296. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100296> [in English].
16. Snizhko, S., Shevchenko, O., & Svintsitska, H. (2019). Khvyli tepla v tsentralnykh oblastiakh Ukrainy za umov suchasnykh zmin klimatu [Heat waves in the central regions of Ukraine under current climate change conditions]. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military-Special Sciences*, 2(39), 58–62. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2018.39.58-62> [in Ukrainian].
17. Nakaznenko, A. H., & Savchenko, O. H. (2021). Zminy termichnoho rezhymu Poltavskoi oblasti v umovakh zminy klimatu [Changes of the thermal regime of Poltava region under climate change]. *Constructive Geography and Rational Use of Natural Resources*, 1(1), 59–64. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2018.39.58-62> [in Ukrainian].
18. Pysarenko, L. A., & Krakovska, S. V. (2020). Osnovni napriamky suchasnykh doslidzhen vzaiemodii klimatu i pidstylnoi poverkhni [Main directions of modern research on climate–surface interactions]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 25, 38–52. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.04> [in Ukrainian].
19. Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509> [in English].
20. Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., et al. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations – A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66> [in English].
21. Balas, D., Duda, M., Tiwari, M. K., Trivedi, M., & Patel, G. (2023). Impact of land surface temperature (LST) and ground air temperature (Tair) on land use and land cover (LULC): An investigative study. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13, 3117–3130. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i102980> [in English].
22. Pham-Duc, B., Nguyen, H., Phan, H., & Tran-Anh, Q. (2023). Trends and applications of Google Earth Engine in remote sensing and earth science research: A bibliometric analysis using Scopus database. *Earth Science Informatics*, 16, 2355–2371. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01035-2> [in English].
23. Hu, Y., Christensen, E. G., Amin, H. M. F., Smith, T. E. L., & Rein, G. (2019). Experimental study of moisture content effects on the transient gas and particle emissions from peat fires. *Combustion and Flame*, 209, 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.07.046> [in English].
24. Poltavskyi oblasnyi tsentr z hidrometeorolohii. (2024, August 29). Naisukhishe lito za ostanni 100 rokiv: pozhezhna nebezpeka perevyschuie 35 000 [The driest summer in the last 100 years: Fire danger exceeds 35,000]. *Facebook*. Retrieved July 28, 2025, from <https://www.facebook.com/photo/?fbid=877725267299782> [in Ukrainian].
25. Stavniuk, M. (Ed.). (2012). *Otsinka vrazlyvosti do zminy klimatu: Ukraina* [Climate change vulnerability assessment: Ukraine]. Kyiv: National Ecological Centre of Ukraine. Retrieved July 25, 2025, from https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf [in Ukrainian].
26. Leal Filho, W., Fedoruk, M., Eustachio, J. H. P. P., Splodytel, A., Smaliychuk, A., & Szyrkowska-Jóźwik, M. I. (2024, July). *The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine*. *Journal of Environmental Management*, 364, Article 121399. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399> [in English].

Дата надходження статті: 14. 07.2025

Дата прийняття статті: 27.08.2025

Опубліковано: 07.10.2025