

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний біотехнологічний університет

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО,
КАРТОГРАФІЧНОГО ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЛЕУСТРОЮ, КАДАСТРУ
ТА МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ**

Колективна монографія

Харків – 2025

УДК 528:004.9:332.3](02.064)

У 31

*Рекомендовано до друку
вченою радою Державного біотехнологічного університету
(протокол № 2 від 19 вересня 2025 р.)*

Авторський колектив: д-р. техн. наук, проф. **С. Г. Могильний**; кандидати екон. наук, доценти: **І. І. Садовий**, **Д. Д. Хайнус**, **С. О. Винограденко**; канд. геол. наук, доцент **С. М. Смирнова**; д-р філос. з наук про Землю, доцент **Д. С. Сопов**; старші викладачі: **А. О. Сєдов**, **Н. В. Сопова**

Рецензенти: **Прядка Т.М.**, професор кафедри геодезії та землеустрою Сумського національного аграрного університету, д-р екон. наук; **Ступень Р.М.**, в.о. завідувача кафедри геодезії і геоінформатики Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, д-р екон. наук, професор; **Шарий Г.І.**, завідувач кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», д-р екон. наук.

**Удосконалення методів геодезичного, картографічного та гео-
У 31 інформаційного забезпечення землеустрою, кадастру та моніторингу
земель:** колект. монографія / І.І. Садовий, Д. Д. Хайнус, С. О. Винограденко та ін.; за заг. ред. д-ра екон. наук, професора І.В. Кошкалди; Державний біотехнологічний університет. – Харків: ФОП Панов А.М., 2025. – 274 с.

ISBN 978-617-8534-42-4

Розглянуто удосконалення методів геодезичного, картографічного та геоінформаційного забезпечення землеустрою, кадастру й моніторингу земель. Висвітлено застосування геоінформаційних систем у поєднанні з даними дистанційного зондування для моніторингу стану природних ресурсів, виявлення та картографування осередків торф'яних пожеж, а також проведення комплексного геодезичного контролю технічного стану будівель. Проаналізовано історичний розвиток та сучасні тенденції використання ГІС, досліджено точність кадастрового знімання сучасними дистанційними методами, визначено еколого-економічні аспекти організації сільськогосподарських територій в умовах зміни клімату та забруднення земель. Окрему увагу приділено сучасним картографо-геодезичним технологіям, інтеграції машинного навчання та штучного інтелекту у просторових дослідженнях.

Розраховано на науковців, фахівців у галузі геодезії, геоінформаційних систем та землеустрою, викладачів, аспірантів і здобувачів закладів вищої освіти.

УДК 528:004.9:332.3](02.064)

ISBN 978-617-8534-42-4

© Садовий І.І., Хайнус Д.Д.,
Винограденко С. О. та ін., 2025
© Державний біотехнологічний
університет, 2025

ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ВІДОМОСТЕЙ ДЕРЖАВНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ Й КАРТОГРАФУВАННЯ ОСЕРЕДКІВ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ

*Д. С. Сонов, д-р філос. з наук про Землю, доцент
Н.В. Сонова, старший викладач*

Дослідження торф'яних пожеж за допомогою методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є вкрай актуальним напрямом, що пояснюється багатьма обставинами. По-перше, торфовища є цінними екосистемами, що виконують важливі екологічні функції, однак вони вразливі до пожеж. Торф'яні пожежі відрізняються від інших природних пожеж своєю тривалістю, викидами вуглецю, парникових газів і дуже небезпечних продуктів згоряння та іншим впливом на навколишнє середовище. По-друге, важко досліджувати торф'яні пожежі за допомогою наземних методів, але це можна зробити за допомогою дистанційного зондування. ДЗЗ дозволяє проводити моніторинг великих територій з високою частотою, що є критичним для своєчасного виявлення та локалізації осередків горіння. Крім того, аналіз даних ДЗЗ дозволяє виявити закономірності виникнення та поширення торфових пожеж, що є необхідним для розробки ефективних стратегій їх запобігання та ліквідації.

Об'єктом дослідження є процес виявлення та картографування ареалів поширення торф'яних пожеж на прикладі Лубенського району Полтавської області. Це регіон, де торф'яні пожежі є частим явищем.

Предметом дослідження є застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та даних державного земельного кадастру для вивчення та аналізу торф'яних пожеж.

Метою дослідження є розробка ефективної методики виявлення та картографування ареалів поширення торф'яних пожеж на основі відкритих даних дистанційного зондування Землі, а також оцінка динаміки цих процесів у Лубенському районі Полтавської області.

Для досягнення поставленої мети виконувались такі завдання:

- дослідити особливості дистанційного зондування Землі як комплексу методів;
- з'ясувати підходи до визначення та класифікації торф'яних пожеж, їх особливості та наслідки;
- проаналізувати можливості дослідження торф'яних пожеж методами ДЗЗ;
- дослідити фізико-географічні особливості території Лубенського району Полтавської області та з'ясувати їх вплив на виникнення та географічне поширення пожеж на торфовищах;
- проаналізувати статистику й сезонні прояви пожеж торфовищ у Лубенському районі; використати супутникові знімки для виявлення ареалів поширення нелісових торфових пожеж та з'ясувати наслідки для рослинності;
- розробити рекомендації щодо профілактики торф'яних пожеж у Лубенському районі Полтавської області.

Дослідження проводилось з використанням загальнонаукових (аналіз, синтез, порівняння, класифікація, моделювання) та спеціальних (картографічного, методів дистанційного зондування Землі) методів.

Уперше здійснено моніторинг торф'яних пожеж методами ДЗЗ для Лубенського району Полтавської області. Результати дослідження, зокрема, аналітичні матеріали, супутникові знімки, мають прикладне значення для екологічної безпеки та сталого розвитку регіону.

ДЗЗ як сучасний метод моніторингу надзвичайних природних ситуацій. У наш час одним із найпоширеніших методів отримання інформації про навколишнє середовище є дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), тобто методи дослідження поверхні Землі без безпосереднього фізичного контакту з нею, за допомогою спеціальних приладів, встановлених на наземних, повітряних або космічних платформах. «По справжньому широкі перспективи відкрилися перед ДЗЗ з розвитком комп'ютерних технологій, переносом усіх основних операцій з обробки і використання даних зйомок на обчислювальну техніку, розробкою програмних комплексів з цифрової обробки зображень, з появою і широким розповсюдженням геоінформаційних систем» [1]. Технології покращили

просторову, часову та радіометричну роздільну здатність супутникових зображень, що в наш час дозволяє проводити аналіз наборів даних у часі, комбінувати (інтегрувати) дані з різних датчиків, комбінувати зображення різних масштабів тощо.

Важливість методів дистанційного зондування Землі слід розглядати в контексті сучасних викликів – *зміни клімату, частішання природних катаклізмів, посилення антропогенних впливів*.

Кліматична криза підвищила середню глобальну температуру та призвела до більш частих екстремальних температур, таких як хвилі спеки. Це, у свою чергу, призвело до поширення посух, які стали частими, сильними та тривалішими. Зі зміною клімату і з деяким пересуванням кліматичних зон на північ посилилась частота пожеж та інших надзвичайних природних явищ. За свідченням фахівців, регіони, які зараз не схильні до пожеж, можуть стати зонами ризику [2]. В Україні виявлено тренд до зростання кількості великих пожеж, верхових пожеж високої інтенсивності, які важко піддаються гасінню [3; 4]. Наслідки зміни клімату впливають на багато різних аспектів нашого життя. В Україні додатковим фактором, що спричинює катаклізми та актуалізує завдання використання дистанційних методів Землі, стала російсько-українська війна.

Термін «дистанційне зондування Землі» набув поширення, починаючи від дати запуску в 1957 році першого штучного супутника Землі та знімання протилежного боку Місяці в 1959 р. автоматичною міжпланетною станцією «Зонд-3» [1].

Можливість дослідження Землі з космосу ґрунтується на фіксації датчиками електромагнітних хвиль, які випромінюють природні і штучні об'єкти на поверхні Землі. Серед цих хвиль виділяють власне випромінювання об'єктів та відбите від них сонячне випромінювання. Довжина електромагнітних хвиль може бути різноманітною і корелює із властивостями земних об'єктів.

Весь діапазон випромінювання називають *електромагнітним спектром (ЕМ)*. Спектр безперервний, межі між різними частинами ЕМ спектра неточні, спостерігаються сильні перекриття сусідніх ділянок. Виділяють наступні типи хвиль електромагнітного спектру: *радіохвилі, мікрохвилі, інфрачервоне випромінювання (ІЧ), видиме світло, ультрафіолетове випромінювання, рентгенівське*

випромінювання та гамма-випромінювання (рис. 1). Діапазон ІЧ випромінювання розділяють на: ближній (0,75-1,5 мкм) ІЧ-діапазон; середній (1,5-3 мкм) ІЧ-діапазон; далекий (3-1000 мкм) ІЧ-діапазон. Кожний тип хвиль має свій характер застосування.

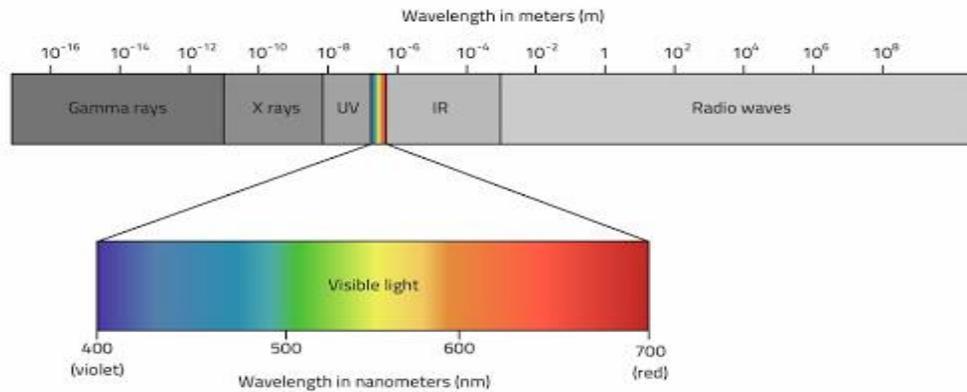


Рис. 1. Електромагнітний спектр [5]

Сучасні супутники обладнані датчиками, що здатні реєструвати електромагнітне випромінювання в широкому спектрі довжин хвиль, що забезпечує отримання детальної та багатовимірної інформації про земну поверхню [6]. Найважливішими для дистанційного зондування є такі діапазони:

- видиме світло;
- інфрачервоне випромінювання;
- мікрохвильове випромінювання;
- ультрафіолетове випромінювання.

Цьому є відповідне пояснення. *Видиме світло* дає детальну інформацію про колір і текстуру поверхні, без чого було б важко ідентифікувати різні типи земних об'єктів. *Інфрачервоне випромінювання* дозволяє отримати інформацію про температуру поверхні, що важливо для виявлення теплових аномалій та дослідження рослинності. Перевагою цього діапазону є можливість знімання вночі. *Мікрохвильове випромінювання* проникає крізь значні товщі земної поверхні та крізь хмари, завдяки йому вчені отримують дані незалежно від погоди. Мікрохвилі чутливі до вологості ґрунтів. *Ультрафіолетове випромінювання* використовують для вивчення певних речовин, що по-різному поглинають цей тип випромінювання.

Різні матеріали на поверхні Землі унікальним чином відбивають і поглинають енергію. Це створює чіткі «спектральні сигнатури», які допомагають ідентифікувати об'єкти на відстані.

Методи ДЗЗ можна класифікувати за різними ознаками. За способами розташування знімального обладнання виділяють *наземний, повітряний та космічний сегменти*. У повітряному сегменті розрізняють пілотовані (літаки) та безпілотні літальні засоби (БПА).

За типами датчиків розрізняють пасивні та активні методи дистанційного зондування Землі. *Пасивні методи* ґрунтуються на реєстрації природного (сонячного) випромінювання, що йде від поверхні Землі та з атмосфери (рис. 2). До них належать візуальні спостереження, ґрунтовані на одержанні фотографічних і телевізійних зображень; зображення, які отримують за допомогою цифрових сенсорів і сканувальних радіометрів.

Активні методи знімання передбачають генерацію спрямованого випромінювання, у результаті взаємодії якого з географічним об'єктом виникає зворотний сигнал, що вимірюється бортовими приймачами (рис. 3) [1]. До активних методів ДЗЗ належать радіолокаційне і лазерне знімання. Можливості різних методів і технічних характеристик датчиків слід враховувати під час вибору оптимального варіанту для вирішення конкретних завдань.

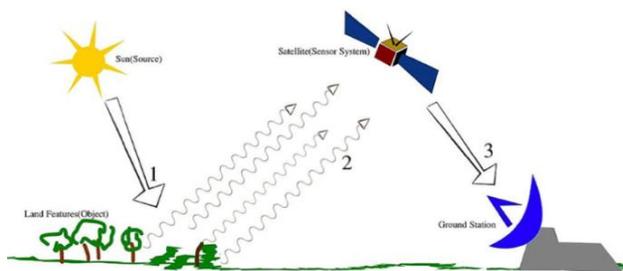


Рис. 2. Дистанційне зондування, що використовує пасивні датчики (джерело: Wikimedia)

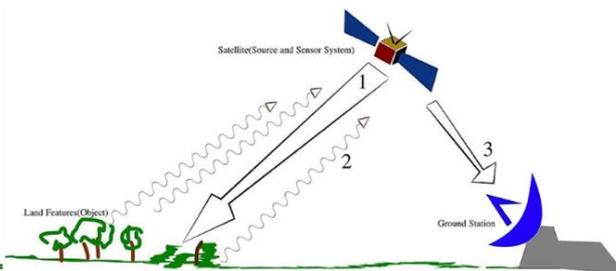


Рис. 3. Дистанційне зондування, що використовує активні датчики (джерело: Wikimedia)

Матеріалами дистанційного зондування, таким чином, вважаються будь-які дані, отримані за допомогою сенсорів, сканерів, оптичних пристроїв, радарів, лідарів та фотоапаратів, установлених на різних платформах.

У наш час можна отримати майже будь-яку інформацію щодо різних природних або антропогенних об'єктів та процесів, що дозволяє створювати картографічну продукцію та підтримувати дані в актуальному стані. Сучасні супутники можуть отримувати знімки з детальністю місцевості 25 см.

Відзначаючи *переваги методів дистанційного зондування Землі*, фахівці наголошують на наступному [7]:

- ДЗЗ має велике географічне покриття і є незамінною технологією для досліджень на глобальному рівні; разом з тим можна отримувати дані і на локальному рівні;
- забезпечується регулярна зйомка і систематичний збір даних;
- можна вести спостереження за важкодоступними районами місцевості, де наземні (польові) методи не спрацьовують;
- охоплює багато технологій, серед яких дослідник може обрати найкращу для своїх конкретних проблем;
- дистанційне зондування може забезпечити об'єктивне уявлення про територію без упереджень або суб'єктивних інтерпретацій, які можуть бути присутніми в наземному зборі даних;
- дані дистанційного зондування можна збирати швидко та в режимі реального часу, надаючи актуальну інформацію для прийняття рішень;
- одне зображення, отримане за допомогою дистанційного зондування, можна аналізувати та інтерпретувати для використання в різних програмах і цілях;
- на відміну від традиційних способів вивчення стану довкілля, дистанційне зондування гарантує невторчання в природні процеси на територіях спостереження.

Серед недоліків найчастіше згадуються високі початкові витрати технологій ДЗЗ, у т. ч. через необхідність мати висококваліфікованих фахівців для інтерпретації даних; залежність від атмосферних умов; проблеми з калібруванням датчиків, що може приводити до отримання неточних даних та деякі інші.

Загалом поєднання дистанційного зондування та польових даних дозволяє дослідникам використовувати сильні сторони кожного підходу, щоб отримати більш повне розуміння процесів

навколишнього середовища, відстежувати зміни в просторі та часі та допомагати приймати рішення у різних галузях, включаючи екологію, сільське господарство, лісове господарство, містобудування та природокористування.

В Україні на поточний момент немає власних діючих супутників. Для отримання даних доводиться звертатися до відкритих інтернет-ресурсів, спеціалізованих платформ, у яких накопичено архів даних. Інший спосіб отримати дані ДЗЗ – це звернутись до приватних фірм інших держав.

Для вільного доступу до перегляду, аналізу та завантаження матеріалів космічних спостережень із супутників середньої та низької роздільної здатності Sentinel-1,2,3, Landsat-8 та MODIS доступні зручні сервіси EO Browser, Planet Explorer, Sentinel Playground (Sentinel Hub), Copernicus Open Access Hub, LandViewer. Це веб-платформи, портали, що містять архіви космічних знімків, дозволяють ретроспективний перегляд на обрану дату. Для покращення якості супутникового зображення, можна використати фільтри для регулювання хмарності, покриття території.

Після отримання необробленого супутникового зображення його слід перетворити на такий, що розкриває особливості досліджуваного об'єкту або процесу. Більшість супутникових зображень виглядають природно, що досягається комбінацією каналів видимого спектру – червоного, зеленого, синього. Ця комбінація позначається як True Color (природний колір).

Якщо треба дослідити певний об'єкт або явище, які на знімках у природних кольорах не видні або слабо відстежуються, то використовуються спектральні канали вище і нижче видимого діапазону. Така обробка знімків дозволяє позбавитись так званого «візуального шуму», що відволікає, та зосередитись на об'єкті дослідження. У підсумку виходить хибне кольорове зображення, на якому можна побачити здорову рослинність, рівень зволоженості ґрунтів, точки займання та ін. Вибір тих чи інших комбінацій спектральних каналів – це результат дослідження вченими спектральних характеристик різних об'єктів. Також враховуються спектральні характеристики супутникових сенсорів, щоб визначити, які спектральні діапазони вони можуть реєструвати. Звертають увагу і не те, які спектральні діапазони найменше спотворюються атмосферними ефектами.

Сучасні онлайн-платформи містять різноманітні інструменти для аналізу супутникових знімків. Отже, щоб витягнути зі знімку необхідну інформацію, його переглядають в різних комбінаціях спектральних каналів, або за розрахованими в онлайн форматі індексами.

Індекси в контексті супутникових знімків – це математичні формули, що обчислюються на основі значень яскравості у різних спектральних каналах зображення. Вони дозволяють видобувати певну інформацію про об'єкти на земній поверхні, яка не завжди очевидна при візуальному аналізі зображення. Наявність різних доступних індексів робить можливим отримувати велику кількість модифікованих супутникових зображень для комплексного аналізу об'єкту дослідження.

Правильна інтерпретація супутникових знімків – це вікно в таємниці Землі. Також за допомогою інструментів, що пропонують веб-платформи, роблять вимірювання, аналізують графіки, виконують класифікації тощо. Більш досконалий аналіз та картографування досліджуваних земних об'єктів можна зробити в геоінформаційних системах. Інтеграція сучасних методів отримання даних ДЗЗ з геоінформаційними технологіями значно розширило горизонти використання даних, їх аналізу, інтерпретації та моделювання широкого спектру природних процесів і діяльності людини [8].

Дистанційне зондування дає можливість отримати дані про надзвичайні природні ситуації та катастрофи, спричинені людьми, а також дозволяє оперативний моніторинг великих ділянок місцевості у труднодоступних районах. Такими районами є Арктика, високогір'я, тропічні ліси, пустелі. В Україні до категорії труднодоступних районів можна віднести густі ліси Карпат, Полісся, пагорби Поділля, болотисті масиви Полісся, заплави великих річок (Дніпро, Дністер). Труднодоступними можуть стати райони в результаті сильних вітрів, туманів, снігопадів. Тимчасові труднощі для пересування виникають під час сильної спеки або посухи. Труднодоступність територій може бути спричинена антропогенними факторами, серед яких: *забруднені території, зони відчуження, військові полігони, території ведення воєнних дій, окуповані території держави.* Іноді відсутність належної інфраструктури (доріг, комунікацій) ускладнює або унеможлиблює доступ до певних районів.

Дистанційне зондування є потужним інструментом для відображення і моніторингу характеристик і динаміки торфовищ та пожеж на них, що важко зробити в традиційний спосіб. Для моніторингу можуть бути використані різні датчики, кожний з яких здатний вимірювати специфічні фізичні властивості торфовищ. Комплексне використання даних різних датчиків пояснює особливості динаміки рослинності, гідрологічних умов, характеристик надр [7]. Архівні дані дистанційного зондування допоможуть відстежити довготривалі тенденції і перетворення. Це важливо знати, щоб попередити пожежі.

Таким чином, технології ДЗЗ дозволяють отримувати детальну інформацію про земну поверхню, незалежно від погодних умов та недоступності територій для наземних досліджень. Завдяки здатності фіксувати електромагнітне випромінювання в широкому спектрі, ДЗЗ забезпечує багатовимірні дані у вигляді супутникових та аерознімків, за допомогою яких можна вивчати різноманітні природні процеси та явища, у тому числі на труднодоступних територіях. Комбінація ДЗЗ з іншими методами досліджень дозволяє отримати більш повну та достовірну інформацію про стан навколишнього середовища, відстежувати надзвичайні явища, викликані природними або антропогенними чинниками, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Торф'яні пожежі: особливості, причини виникнення, наслідки. Тема торф'яних пожеж має міждисциплінарний характер. Її досліджують вітчизняні та зарубіжні вчені з огляду на зростаючу актуальність. Визначимо деякі ключові аспекти, на які звертають увагу дослідники в Україні:

- наслідки торф'яних пожеж для ґрунтів (науковці Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського);
- розроблення рекомендацій щодо вирощування культур та сільськогосподарського використання торфовищ, які постраждали від пожеж.

Методику виявлення методами ДЗЗ теплових аномалій на торфовищах Київської області та ризику виникнення досліджували Л. П. Ліщенко, Н. В. Пазин (2016). Л. П. Ліщенко, Р. М. Шевчук, В. Є. Філіпович (2022) та багато ін.

Торф – це органічна речовина, що утворюється внаслідок неповного розкладання рослинних залишків у заболочених

середовищах протягом тривалого часу (століть або тисячоліть). Водно-болотні території з потужністю торфу більше 1 м відносять до торфовищ [8]. Торфовища розвиваються там, де швидкість виробництва рослин перевищує швидкість розкладання (і горіння) [9]. Дефіцит поживних речовин, насиченість водою та низький рН навколо кореневих систем дерев роблять торфовища непридатними для широкого поширення деревної рослинності [10]. На торфовища припадає близько 3 % земної кулі, вони є найбільшими з усіх типів водно-болотних угідь [11].

Торф, як умовно відновлюване органічне паливо, добриво і хімічна сировина, є важливим резерватом ягідників, лікарських трав [12]. Його використовують у багатьох галузях – сільському господарстві, лікуванні, біохімії, енергетиці. Завдяки багатому вмісту вуглецю (30 відсотків усіх запасів вуглецю в світі, що вдвічі більше за ліси) торфові болота ще називають «легенями Землі», як природні резервуари води та вуглецю болота відіграють важливу роль у регулюванні клімату. Крім унікального фіто-, зоо-, ландшафтного різноманіття, торфовища виконують важливі ґрунтозахисні, гідроутворюючі і гідрофільтрувальні функції, забезпечують поглинання парникових газів [12]. Один кілограм сухого торфу може утримати до 20 літрів води і є хорошим резервуаром для збереження вологи. Позитивний вплив торфу на ґрунт, проявляється у покращенні його загальної якості, зменшенні рівня нітратів [13].

Географія торфовищ різноманітна (рис. 4). Вони зустрічаються вздовж узбережжя по всьому світу, в солончаках очерету, а в тропіках часто в мангрових заростях – прибережних лісах у районах, де змішуються морська та прісна вода. Екосистеми торфовищ охоплюють лише ~3 % поверхні суші Землі, але містять 25 % світового органічного вуглецю в ґрунті [14; 11].

В Україні на торф'яники припадає площа більше 10000 км². Згідно з Державним обліком запасів корисних копалин України, у країні понад 1500 родовищ торфу [15]. Розподіл торф'яних родовищ пов'язаний з географічною широтою, рельєфом і геоморфологічною будовою місцевості [16]. Основні території торф'яних покладів розташовані у Волинській, Рівненській,

Чернігівській, Київській, Львівській, Хмельницькій, Сумській, Житомирській, Полтавській областях. Масштабні торф'яні пожежі є щорічною проблемою України. У кадастровій системі торфовища віднесені до різних категорій земель: *лісовий фонд, сільськогосподарські угіддя, землі рекреаційного призначення тощо.*

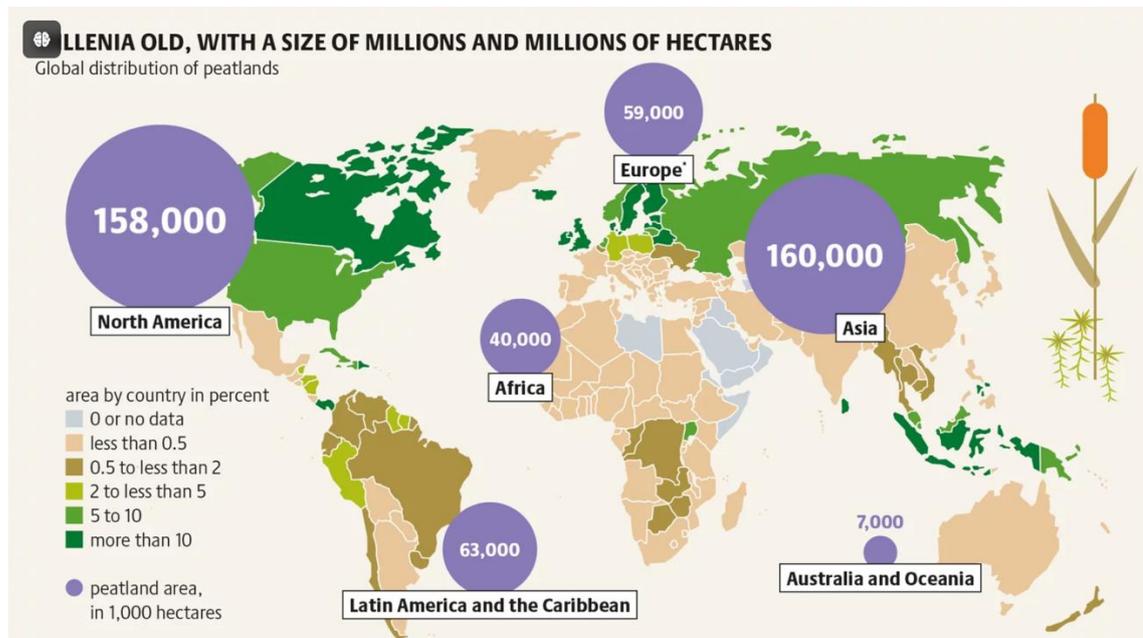


Рис. 4. Поширення торфовищ за країнами та регіонами [17]

Давня назва *торфу* – «займиста земля», говорить сама за себе. Торф схильний до займання та самозаймання, яке може статися за температури вище 50⁰С [15], унаслідок чого утворюються торф'яні пожежі. Верхньою межею вологості, за умов якої можливо загоряння торфовища, є 73 % [18].

Під *торф'яними пожежами* розуміють неконтрольований процес димного горіння торфу внаслідок природного або штучного загоряння, який може мати значну тривалість і значні негативні наслідки для довкілля. З точки зору екології, горіння торфовищ внаслідок пожеж можна розглядати як локальну екологічну кризу [19].

Торф'яні пожежі трапляються з певною частотою в усьому світі в тропічних, помірних і бореальних регіонах. Найбільш вивчена торф'яна пожежа відбулася в Індонезії в 1997 році і призвела до надзвичайної туману. Дим охопив значні частини Південно-Східної Азії, досягнувши навіть Австралії та Китаю, і спричинив сплеск надзвичайних респіраторних захворювань

серед населення та переривання морських і авіаційних маршрутів на кілька тижнів.

Загорання торфу виникають, коли його вологість торфу не перевищує 40 % (це вже практично сухий легкозаймистий торф, в якому вогонь розповсюджується вглиб товщі). Загалом більш сухі ґрунти з глибоким рівнем ґрунтових вод сприяють більшому та глибшому горінню торф'яників. Пілотним джерелом займання торф'яних ґрунтів може виступати реальна лісова пожежа або полум'я палаючої трави або дерев.

Торф'яні пожежі та зміна клімату тісно взаємопов'язані. Згідно з майбутніми сценаріями зміни клімату, очікується, що рівень вологості торф'яного ґрунту зменшиться, а частота пожеж збільшиться [9]. У 2002 році Міжнародна група по охороні боліт і Міжнародне товариство торфовищ запропонували основу для розумного використання торфовищ. У 2014 році Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (FAO) опублікувала звіт «Назустріч кліматично відповідальному управлінню торфовищами» [20], у якому наголошується на неприпустимості їх навмисного осушення та нагальну потребу моніторингу і сталого управління землею. Унаслідок господарської діяльності торф'яники часто втрачають природний опір зовнішнім впливам та стають надзвичайно вразливими до природних і антропогенних факторів [19]. У дуже спекотні періоди навіть заболочені ділянки можуть стати ареалом поширення вогню, що не поширюється тільки на дуже вологі западини.

Процес горіння торфу відбувається в декілька етапів. Після початкового полум'яного горіння воно переходить у гетерогенне тління. Коли тверда речовина прогрівається до температури, при якій починається її піроліз або виділення з неї горючих летючих компонентів, тління перетворюється на полум'яне горіння. Після того, як цих речовин не залишається полум'яне горіння знову переходить у гетерогенне тління. Унаслідок цього після гасіння пожежі на одній ділянці, вона може перекинутися на інші ділянки [21].

Тліючі пожежі на торфовищах є найбільшим явищем горіння на Землі, і щорічно вивільняється величезна кількість стародавнього вуглецю, що приблизно еквівалентно 15 % антропогенних викидів [22].

На відміну від лісових пожеж, торф'яні пожежі мають ряд *особливостей*. У торф'яній пожежі домінує тління – процес повільного, низькотемпературного та безполум'яного горіння, що відрізняється від звичайної палаючої лісової пожежі хімічним складом, процесами тепло- та масопереносу та часовими масштабами. Тліюче горіння – це найбільш стійкий тип явищ горіння [23].

Вогонь може заглиблюватись у шар торфу, і горіння відбуватиметься на великій глибині, без полум'я, тривалий час, залишають порожнечі або отвори в ґрунті. Температура в товщі торфу, охопленого пожежею, перевищує тисячу градусів [16]. Торф'яна пожежа може поширюватися в усіх напрямках (вертикально і горизонтально) і бути «невидимою» для людей. Визначити таку пожежу можна лише за характерним запахом гарі та високою температурою поверхні землі. Там, де шар торфу сягає 3-6 метрів, коли вже здається, що пожежа згасла, через деякий час торф знов починає тліти. Торф'яні пожежі створюють небезпеку провалу в прогорілий ґрунт людей і техніки [16].

Порівняно з лісовою, торф'яна пожежа менше залежить від напрямку і сили вітру, під ґрунтом торф може горіти навіть під час помірних дощів і снігопадів. Головною проблемою таких пожеж є те, що загасити тліючі торф'яники за короткий час майже неможливо. Після спалаху вони можуть повільно тліти і горіти місяцями, руйнуючи екосистеми та створюючи регіональний туман по всьому світу [22]. Більше того, торф'яна пожежа провокує розвиток низової лісової пожежі [16]. Гасити пожежі на торфовищах навіть важче, ніж лісові, бо необхідно дуже багато води. Жар досить довго тримається в покладах і його повністю треба перебивати водою.

Причини виникнення торф'яних пожеж зводяться до двох груп:

- природні причини – блискавки без злив, вулканічна активність, самозаймання торфу в посушливий період (причиною якого є екзотермічні теплові, хімічні та мікробіологічні процеси);
- антропогенні причини – необережне поводження з вогнем, спалювання сухої трави, сміття, необережно викинуті (туристами, рибалками, мисливцями) недопалки, а також підпали.

Зростання частоти торф'яних пожеж в Україні і світі значною мірою відбувається в результаті зміни клімату та

діяльності людини [10]. В Україні загоряння торф'яників має сезонний характер. Наприкінці літа та на початку осені виникають особливо сприятливі умови для загоряння торфу. У результаті висихання біомаси на поверхні землі знижується рівень ґрунтових вод на торфовищах, що в свою чергу збільшує частоту та масштаби торф'яних пожеж.

Важливим питанням з точки зору науки і практики є *класифікація* торф'яних пожеж. Різні класи торф'яних пожеж мають різну інтенсивність горіння, глибину прогорання та швидкість поширення. Класифікація дозволяє точно оцінити масштаби пожежі, її потенційну шкоду для довкілля та людей, а також розробити ефективні заходи з ліквідації. Знання класу пожежі допомагає підібрати найбільш ефективні засоби та технології гасіння, що дозволяє скоротити час ліквідації та зменшити матеріальні збитки.

Торф'яні пожежі класифікують за різними критеріями: *за глибиною, за швидкістю поширення, за інтенсивністю горіння* (рис. 5).

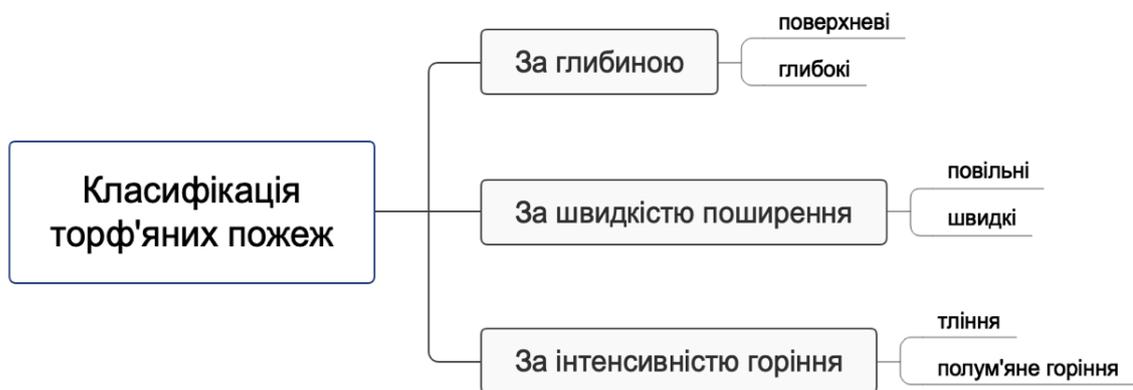


Рис. 5. Узагальнена класифікація торф'яних пожеж (зроблено авторами у сервісі MindMaster)

Залежно від домінуючих процесів горіння торф'яні пожежі можна умовно розділити на два типи: *палаючі* та *тліючі* [23]. Останні – особливо небезпечні та найменш вивчені науковцями.

Залежно від глибини виділяють *поверхневий* тип горіння та *глибокий* тип. Поверхневі торф'яні пожежі (глибина прогорання до 25–30 см) характерні для регіонів, що мають відносно вологі умови. Глибинні (більше 50 см, іноді – до кількох метрів) трапляються у більш сухих умовах (тобто умови з низьким

рівнем ґрунтових вод) або на осушених торфовищах з потужними відкладами торфу, що вразливі до вогню.

За швидкістю поширення розрізняють пожежі *повільні та швидкі*.

Залежно від природної зони: *тропічні, помірні та бореальні*.

Тип торф'яної пожежі, її інтенсивність залежать від поєднання умов – кількості торф'яного палива, попередньої вологості, наявності кисню та пожежної погоди, нахилу місцевості (впливає на швидкість стікання води та розповсюдження вогню). Інтенсивна пожежа з великою глибиною горіння, ймовірно, повністю видалить велику кількість нещодавно відкладеної органічної речовини, тоді як неглибоке горіння може видалити лише рослинний шар або кілька сантиметрів органічної речовини.

Наслідки торф'яних пожеж. Торф'яники – це екосистеми, які зберігають найбільшу кількість вуглецю, порівнянну за розміром із поточним резервуаром вуглецю в атмосфері [10]. Торф'яники накопичують ґрунтовий вуглець протягом тисячоліть частково через заболочені, безкисневі умови, які уповільнюють темпи розкладання торф'яного ґрунту відносно продуктивності рослин. Однак зміни рівня води на торфовищах із дренажем ґрунту, зміною землекористування та потеплінням клімату роблять довготермінові запаси вуглецю вразливими до окислення. Горіння глибокого торфу впливає на старий вуглець у ґрунті, який не був частиною циклу активного вуглецю протягом століть чи тисячоліть [10]. Негативні наслідки горіння торф'яників збільшуються в рази із зростанням тривалості пожежі (рис. 6).

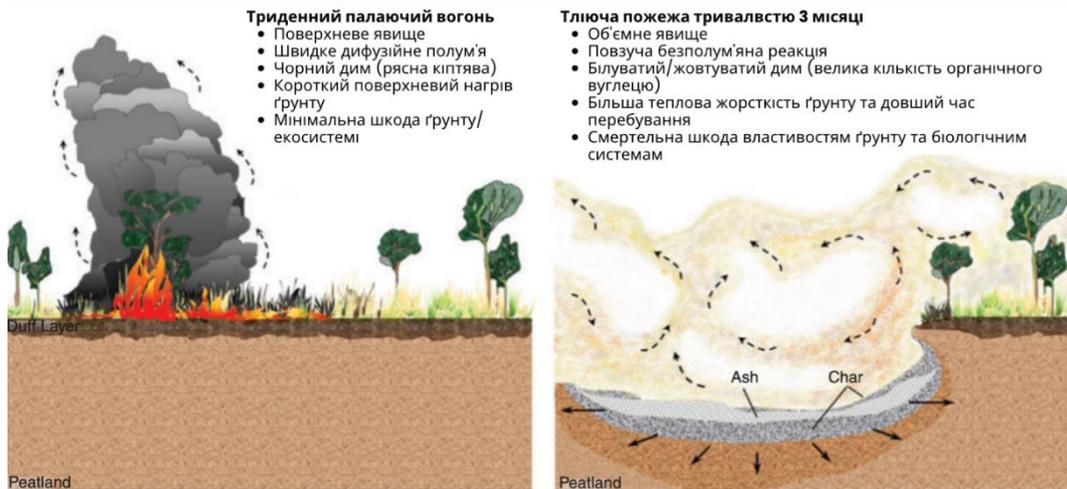


Рис. 6. Схема 3-денної палаючої пожежі торф'яного лісу (ліворуч) і наступної 3-місячної тліючої пожежі торфовища (праворуч) [24]

Тліюча торф'яна пожежа є процесом неповного горіння. Виявити її можна за слабкими плавучими стовпами диму, що накопичується біля землі. Ґрунти, що покривають торфовища, мають високий вміст важких металів, радіаційне та інші види забруднення (наприклад, як у зоні відчуження Чорнобильської АЕС), які під час згорання виділяються в повітря [25]. У процесі тління виділяється значна кількість забруднюючих речовин (CO_2 , CO , CH_4 , HCN і NH_3 , SO_2), що шкодить довкіллю [24]. За деякими оцінками, тліючі торф'яні пожежі викидають в атмосферу більше 100 видів газів і часток [14].

Пожежі на торфовищах також можуть суттєво зменшити банки насіння та вплинути на місцеві гідрологічні умови, що призведе до довгострокових змін у рослинних угрупованнях. Під час підземної пожежі відбувається руйнування кореневої системи рослин. Останнє призводить до повного відходу від первісної водно-болотної рослинності, зменшення покриву та біорізноманіття.

Ще одним негативним наслідком загорання торфу є руйнування структури ґрунту. *Гідрофобність* – це властивість матеріалу відштовхувати воду. Торф, який зазвичай є дуже вологим, може втратити цю здатність утримувати воду через пожежу, що в призведе до подальшого висихання торфовища. Сухий торф є дуже легкозаймистим матеріалом. Це, у свою чергу,

значно підвищує ризик виникнення пожеж, які можуть мати руйнівні наслідки для навколишнього середовища.

Через горіння торфу можуть виникати проблеми зі здоров'ям у дітей, людей похилого віку, у тих, хто страждає на захворювання серцево-судинної системи, діабет, алергію, легеневі захворювання. Існують дві основні причини негативного впливу торф'яної пожежі на здоров'я людей: *утворення великої кількості диму (смогу) та токсичність диму* [23].

Торф'яні пожежі мають серйозні економічні наслідки, зокрема призводять до втрати земель, підвищення витрат на охорону здоров'я через забруднення повітря, зниження якості води (рис. 7). Вони також можуть загрожувати життю людей і завдати шкоди місцевим економікам. Торф'яна пожежа здатна пошкодити все на своєму шляху: *від житлових приміщень до та важливих господарських об'єктів (повітряних ліній електропередачі, нафто-, газо-, продуктопроводів, будівельних конструкцій тощо)*. Горіння торфових полів призводить до зменшення туристичної привабливості регіону, завдає шкоди сільському господарству.



Рис. 7. Економічні наслідки торф'яних пожеж (зроблено авторами)

Території торф'яних пожеж часто вважають труднодоступними. Причин для цього декілька. Вогонь у торфі

часто поширюється на значну глибину, це ускладнює визначення меж і масштабів пожежі, а також гасіння доступними засобами. Території торфовищ мають, зазвичай, м'які, заболочені ґрунти. За таких умов просування людей і пожежної техніки ускладнено. Під час горіння виділяються токсичні речовини, що роблять роботу рятувальників небезпечною.

Гасіння пожеж на торфовищах. Займання торфовищ шукають за допомогою безпілотників та отримують заявки від місцевих керівників. Моніторинг пожеж на торф'яниках здійснюється, на умов невеликого займання, патрулями. Щоб загасити торфовище, потрібно мінімум 2–3 доби. Периметр пожежі окопується канавою до мінерального ґрунту. На вододжерело ставиться мотопомпа і постраждала ділянка повністю просочується водою до повного припинення горіння. Найбільшою проблемою, що виникає у рятувальників, є відсутність поблизу ділянки, де виявлено пожежу, джерела води. Часто, під час спекотного літа, місцеві невеликі водойми пересихають, їх не вистачає для повноцінного гасіння.

Зазначимо, що гасіння водою може бути ефективним для зупинки невеликих пожеж, але воно не працює при великих торф'яних пожежах, для яких потрібна дуже велика кількість води. Для запобігання поширення пожежі бульдозерами перекопують ділянку, щоб торф змішати з ґрунтом і, таким чином, зупиняють поширення пожежі.

Найкращий спосіб пом'якшити пожежу – це попередити її, у тому числі й тління. Наприклад, можна підтримувати органічні ґрунти вологими, уникати дренажу та джерел займання поблизу суші. Якщо запобігання не вдається, першочерговими стають виявлення, моніторинг і придушення (у такому порядку) [26].

Одним із перевірених попереджувальних пожежі заходів є штучне збільшення вологості торф'яників. Наприклад, у Нідерландах використовують метод контролюючого затоплення 80 % небезпечних територій. Якщо літо видається спекотним, рівень води на торф'яниках піднімають, а якщо вологе – знижують, щоб не заболочувати місцевість. У Фінляндії таким же методом затоплюють 100 % торф'яників [21]. Науковці вважають, що Україна також має всі можливості, аби використовувати такий метод. Як відомо, у радянський період осушувалось багато торф'яників. Якщо відновити меліоративні

системи і відновити шлюзи-регулятори на осушувальних системах, можна підняти рівень води на торфовищах, щоб убезпечити місцевість від торф'яних пожеж в особливо небезпечний посушливий сезон.

Як і будь-які інші несприятливі явища природно-антропогенного характеру, торф'яні пожежі потребують дослідження та моніторингу. Йдеться про комплекс комплекс заходів, спрямованих на вивчення процесів виникнення, поширення та гасіння пожеж на торфовищах, а також постійний контроль за їхнім станом. *До таких заходів відносять:*

- виявлення і картографування торфовищ та їх характеристик;
- моніторинг кліматичних умов (температура, вологість, опади) для оцінки пірогенної ситуації;
- визначення ступеня небезпеки пожежі на основі фізико-хімічних властивостей торф'яників та гідрологічного режиму;
- розроблення ефективних стратегій гасіння торф'яних пожеж;
- оцінка впливу торф'яних пожеж на довкілля;
- розробка запобіжних заходів тощо.

Зменшення кількості пожеж, що виникають з-за людської недбалості, потребує проведення профілактичної та роз'яснювальної роботи через засоби масової інформації щодо дотримання правил пожежної безпеки під час відвідування лісових масивів і торфовищ, заборони спалювання залишків деревообробки, сухої трави, відходів від спилування дерев, тощо. Ефективність усіх заходів залежить від злагодженої співпраці між фахівцями, службами та громадськістю.

Крім наземних досліджень, важливу роль у моніторингу торф'яних пожеж відіграє дистанційне зондування Землі. Виявлення торф'яних пожеж за допомогою супутника є складним завданням, оскільки вогонь може бути частково під землею, а випромінювання є іншим і слабкішим, ніж від полум'я [23]. Тим не менш, дистанційне зондування Землі є дієвим методом та технологією у виявленні постраждалих від пожежі територій, і саме цьому методу присвячено наше дослідження.

Таким чином, під торф'яними пожежами розуміють неконтрольований процес димного горіння торфу внаслідок

природного або штучного загоряння, який може мати значну тривалість. Торф'яні пожежі можна класифікувати за різними критеріями: *глибиною, інтенсивністю горіння, швидкістю поширення*. На відміну від звичайних пожеж, торф'яні пожежі мають наступні особливості: *повільне горіння і тління* (можуть тривати тижнями і навіть місяцями), *глибинне поширення* (вогонь проникає вглиб торфовища на значну глибину), *труднощі гасіння* (вода не досягає глибинних шарів торфу, а лише випаровується), *непередбачуваність* (можуть раптово спалахувати і змінювати напрямок поширення), *довготривалі наслідки* (для довкілля, людей, економіки). З точки зору екології, горіння торфовищ внаслідок пожеж можна розглядати як локальну екологічну кризу, що призводить до забруднення атмосферного повітря та ґрунтів, деградації та ерозії ґрунтово-земельних ресурсів, втрат біорізноманіття та унікальних екосистем торфовищ [27]. Торф'яні пожежі мають негативні наслідки для здоров'я людей, для місцевих економік. Усе вищезазначене актуалізує завдання дослідження торф'яних пожеж методами дистанційного зондування Землі.

Методика дослідження. Методика будь-якого дослідження – це структурно-логічна його схема з визначеними підходами і методами дослідження. Саме вона показує, як відбувається збір, оброблення та інтерпретація даних. На основі правильно обраної і належним чином обґрунтованої методики можна робити висновки про достовірність та об'єктивність отриманих результатів. Наявність методики дозволить іншим дослідникам повторити дослідження, його удосконалити, або перевірити.

Дослідження здійснювалось поетапно. На рисунку 8 виділено основні етапи – *концептуальний, теоретико-методологічний, збір даних, обробку та аналіз даних, підсумковий*.

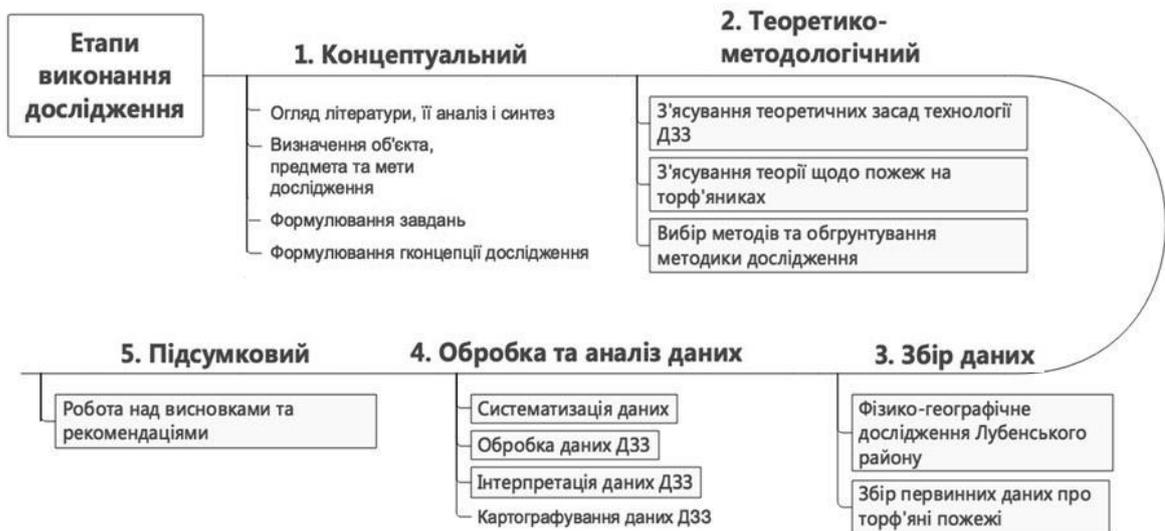


Рис. 8. Етапи виконання дослідження (зроблено авторами)

Дослідження торф'яних пожеж методами дистанційного зондування Землі є міждисциплінарним, тобто в ньому перетинаються кілька наук – науки про Землю, географія, екологія, дистанційне зондування Землі, геоінформатика, що потребувало вивчення теоретичних основ цих галузей.

Різноманіття застосованих у дослідженні методів – основа для отримання надійних та науково обґрунтованих висновків. Під науковими методами розуміють підходи, прийоми, механізми збирання, аналізу та інтерпретації даних, що їх використовує дослідник.

Одним з наскрізних наукових методів у дослідженні став *аналіз* – один із фундаментальних методів наукового дослідження, який передбачає розчленування цілого на складові частини з метою їх детального вивчення. Авторами було проаналізовано різноманітні вітчизняні та зарубіжні літературні джерела, що дозволило виявити ступінь дослідження проблеми, зміст ключових термінів і понять, особливості, переваги та недоліки технології дистанційного зондування Землі, специфіку пожеж на торф'яниках, природні умови Лубенського району Полтавської області (вони слугують факторами географічного поширення пожеж, нарівні з впливом антропогенного чинника). Кількісний аналіз покладено в основу розрахунків індексів, площі торф'яних пожеж. Якісний аналіз поєднав аналіз карт, візуальну інтерпретацію супутникових зображень. Просторовий аналіз було

використано для виявлення просторових закономірностей у розподілі пожеж, їх зв'язку з рельєфом, гідрографічною мережею тощо.

У процесі виконання дослідження важливо було визначити особливості торф'яних пожеж у порівнянні з лісовими пожежами. Метод *порівняння* дозволив, таким чином, виявити спільне та відмінне в тому, як відбуваються ці пожежі. Зокрема, встановлено, що на супутникових знімках можна не побачити всієї площі торф'яної пожежі, адже особливість останньої – переважання тління над горінням та поширення в різних напрямках під землею. Порівняння зображень за різні дати було використано для виявлення розвитку пожеж. Порівняння даних частоти пожеж дозволило зробити висновки, важливі для боротьби з пожежами в Полтавській області.

Методи дистанційного зондування Землі. Джерелом отримання супутникових знімків стала веб-платформа Copernicus Browser, яка надає безкоштовний доступ до даних супутникових місій Sentinel. Джерелами інформації слугували супутникові знімки Sentinel-2_L2A, що надають багатоспектральні зображення з високою роздільною здатністю. За допомогою мультиспектрального аналізу цих знімків було виявлено зміни в рослинності і ґрунтів, пов'язані з пожежами торф'яників. Для покращення якості зображень та видалення впливу атмосфери на супутникові зображення з метою отримання більш точних результатів було застосовано корекцію хмарності. Усі зображення було приведено до єдиної системи координат. Складники методу мультиспектрального аналізу представлено на рисунку 9.

Обробка та аналіз супутникових даних щодо горіння торф'яників та наслідків пожеж включали комбінацію каналів SWIR, False Color та нормалізований вегетаційний індекс NDVI. Останній індекс дозволив виявити наслідки горіння для рослинності і на основі цього виявити згорілі ділянки.

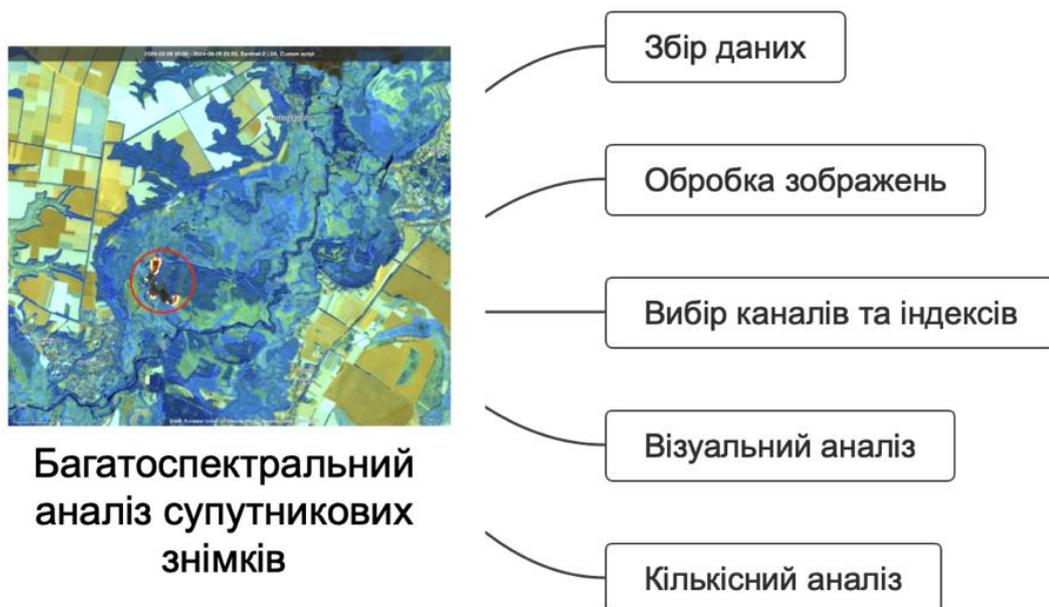


Рис. 9. Складники мультиспектрального аналізу, використаного в дослідженні торф'яних пожеж (зроблено авторами)

Картографічний метод було використано для дослідження території Лубенського району, зокрема в частині виявлення його фізико-географічних особливостей. Деякі карти (наприклад, див. рис. 4) в дослідженні слугували цілям візуалізації. Карта торф'яних пожеж Лубенського району стала результатом проведеного дослідження. Нанесення на карту пожеж дозволило виявити особливості їх поширення. Для картографування пожеж було обрано веб-картографічний інструмент Felt.

Вивчення статистики пожеж не обійшлося без застосування *статистичного методу дослідження*. Було проаналізовано часові ряди даних частоти пожеж торф'яних полів в Україні, Полтавській області та Лубенському районі з 2004 по 2023 роки. Для візуалізації динаміки обрано графічні методи, а саме – гістограми, що вибудовувались за допомогою інструмента Microsoft Excel. Джерельною базою слугували дані Відділу досліджень, статистики пожеж та надзвичайних ситуацій науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

Насамкінець зазначимо, що обрані методи і підходи можуть бути доповнені, удосконалені з огляду на технічні, фінансові можливості дослідника та ступеня його обізнаності в галузі дистанційного зондування Землі.

Фізико-географічна характеристика Лубенського району Полтавської області. Для дослідження пожеж на торфовищах методами дистанційного зондування Землі було обрано Лубенський район Полтавської області. У межах району загорання торфовищ трапляються достатньо часто.

Лубенський район Полтавської області є одним з чотирьох новоутворених у 2020 році адміністративних районів Полтавської області. Згідно Постанови Верховної ради України від 19 липня 2020 року його було укрупнено за рахунок об'єднання із старим Лубенським районом (1923–2020 рр.) та містом обласного підпорядкування Лубни, включаючи території Гребінківського, Оржицького, Пирятинського, Хорольського та Чорнухинського районів (табл. 1).

Таблиця 1. Параметри об'єднаних територіальних громад Лубенського району [28]

№	Територіальні громади у складі Лубенського району	Чисельність населення станом на 01.01.2022 р.	Площа території громади, км ² , за даними Держгеокадастру	Кількість населених пунктів
1	Гребінківська	21,78	588,3	42
2	Лубенська	70,37	1070,3	63
3	Новооржицька	10,31	453,7	31
4	Оржицька	15,99	753,9	33
5	Пирятинська	30,91	932,8	46
6	Хорольська	33,10	1063,2	93
7	Чорнухинська	10,30	619,4	37
	Разом по району	192,75	5480,0	345

Географічне положення Лубенського району характеризується розташуванням у північно-західній частині Полтавської області в межах Полтавської рівнини (частини Придніпровської низовини) та лісостепової фізико-географічної зони. Сусідні адміністративні області на сході і півдні – Миргородський та Кременчуцький райони Полтавської області, на заході – Черкаська та Київська області, на півночі – Чернігівська область (рис. 10). Через територію району проходить траса міжнародного значення Київ-Харків.

Площа досліджуваного району становить 5472,7 км² (19 % території Полтавської області), населення станом на 01.01.2022 року – 184616 осіб або 47,7 % населення Полтавщини [29]. Район

належить до слабоурбанізованих. Переважає дисперсний тип розселення.



Рис. 10. Лубенський район у складі Полтавської області (зроблено авторами у сервісі Felt)

Природно-ресурсний потенціал території, що є органічним поєднанням природних умов та ресурсів, слугує природною основою для її розвитку. Дослідження цього потенціалу, його кількісних і якісних характеристик, надає можливість виявити природні передумови і фактори виникнення та поширення такого несприятливого явища як пожежі торфовищ.

Лубенський район розташований на Східноєвропейській платформі, що зумовило формування рівнинного рельєфу. Територія району входить до меж Придніпровської низовини та Полтавської лесової рівнини. Для рельєфу характерна наявність широких і неглибоких балок. Абсолютні висоти вододілів коливаються від 140 до 220 метрів (рис. 11). Найбільш підвищеною є північно-східна її частина, найнижчою – долини річок Сула, Удай, Оржиця.

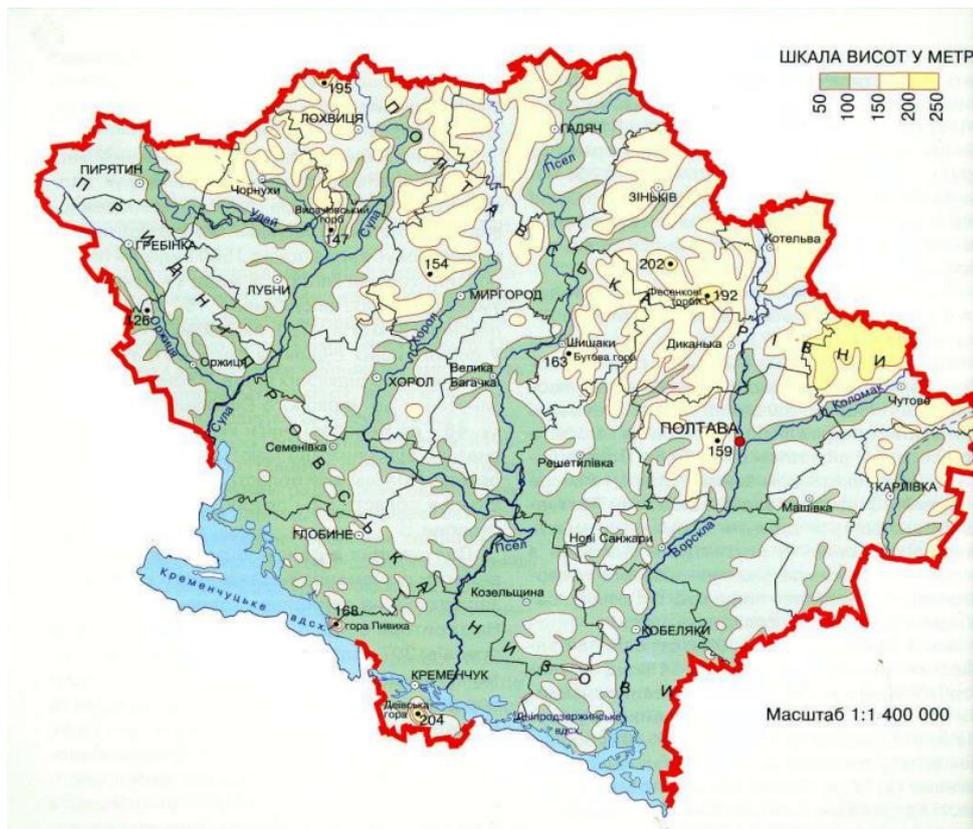


Рис. 11. Фізична карта Полтавської області [30]

Рівнинна поверхня має багато річкових порізів. Серед фізико-геологічних процесів, які змінюють рельєф, найбільш активним є водна ерозія, друга за наслідками – вітрова ерозія [31]. Поширені невеликі форми рельєфу, такі як річкові долини, балки, яри, зсуви, степові блюдця (на вододілах). Окремі ділянки (долина річки Сула) сильно уражені несприятливими геоморфологічними процесами. Щодо антропогенних форм рельєфу, вони представлені курганами, ставками та насипами для доріг і шляхів зв'язку.

Лубенський район має родовища нафти і газу, що обумовлено його розташуванням у межах Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області. Білоусівське та Чорнухинське газоконденсатні родовища та деякі інші експлуатуються. Серед інших мінеральних ресурсів переважають нерудні. Виявлені поклади торфу, кам'яної солі, діабазу, піску, глини, суглинків [32]. У південній частині району розташоване джерело мінеральних вод із лікувальними властивостями – Хорольське-3.

Лубенський район багатий на торф'яні родовища (рис. 12), що концентруються в долинах найбільших річок. Торф знаходить застосування в сільському господарстві як цінне джерело

органіки. У спекотний період літа торф'яники часто стають місцями пожеж.

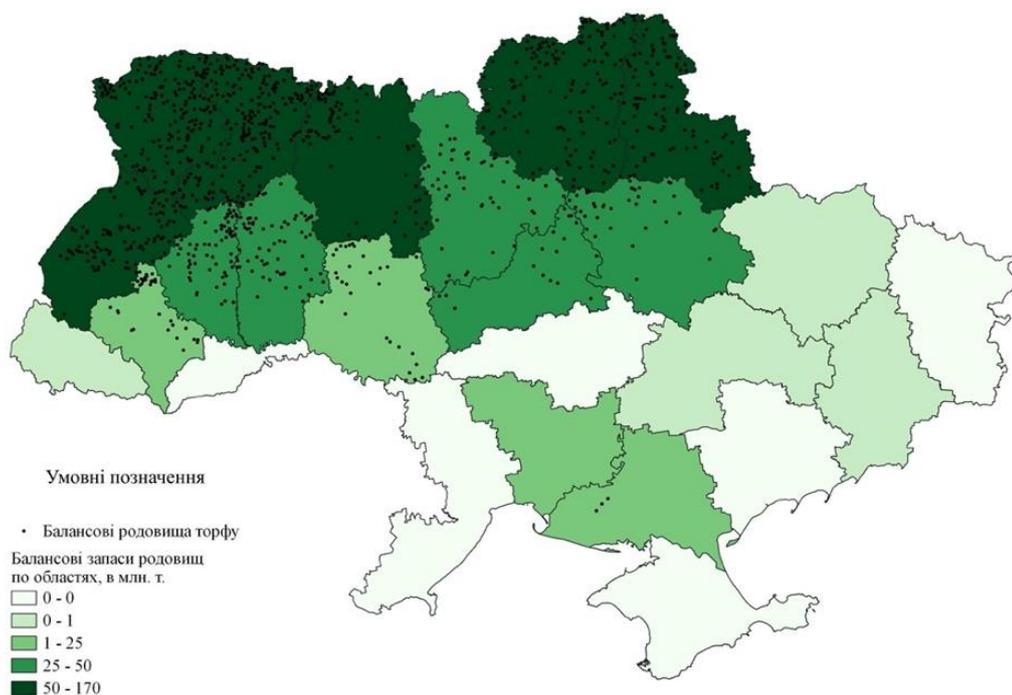


Рис. 12. Карта торфових родовищ в Україні. ТОВ «Геологічна інвестиційна група» [13]

Клімат у Полтавській області – помірно-континентальний. Опади поступають переважно з північно-західними циклонами, найбільша кількість опадів – у червні й липні. Рівнинний характер рельєфу робить територію вразливою перед арктичними, помірними і тропічними повітряними масами. Останнім часом зафіксовано збільшення тривалості сухого періоду та побито чималу кількість температурних рекордів. Так, за даними Полтавського обласного центру з гідрометеорології в 2024 році метеорологічне літо на Полтавщині розпочалось 18 травня, а закінчилось 7 жовтня, коли середні добові температури повітря знизилися нижче $+15^{\circ}$. Загальна тривалість метеорологічного літа становила 143 дні. Травень та липень, як і літо в цілому, були найсухішими за весь період спостережень, а бездощовий період в м. Полтава тривав більше 100 днів [33]. У травні випало чотири міліметри опадів за норми 70. Дефіцит опадів негативно позначається на урожайності всіх сільськогосподарських культур. Посилення посушливості клімату є фактором зростання ймовірності торф'яних пожеж.

Водні ресурси. У межах Лубенського району зустрічаються всі види прісноводних гідрологічних об'єктів – річки, озера, болота, а також створені штучні водойми (внутрішні поверхневі води), є підземні та ґрунтові води. Природні ресурси підземних вод слугують одним із основних джерел господарсько-питного водопостачання населених пунктів області. Гідрографічна система вважається помірно розвиненою. Територія налічує кілька річок, що належать до категорії середніх – це Сула, Удай, Хорол, Оржиця, є також багато малих річок – Сліпорід (правий притік Сули), Сулиця, Солониця, Вільшанка, Кам'янка, Многа. Усі річки належать до басейну Дніпра. Характерна типова для рівнинних річок спокійна течія (рис. 13, 14). Коливання рівня води зумовлені кліматичними особливостями та характером живлення (зі снігового танення припадає 55–60 %). Найнижчий рівень води спостерігається в серпні, коли річки майже висихають [29]. На значній кількості малих річок спостерігається замуленість, поширення болотної рослинності, втрата дренажної спроможності, що призводить до заболоченості та підтоплення заплавлених земель [31, с. 176].

Для регулювання втрат води під час повені багато річок обладнані ставками, а значна частина води використовується для зрошення, значення якого стає дедалі важливішим у зв'язку зі зміною клімату. Проблемою Лубенського району і в цілому Полтавської області є те, що переважна більшість внутрішньогосподарських зрошувальних систем під час паювання сільськогосподарських підприємств не були передані в комунальну власність, у результаті чого були практично знищені [34].

Річка Сула розділяє район на дві приблизно однакові частини: *західну – більш заліснену, та східну – з меншою кількістю лісів та водойм.*

Озера та низинні болота зосереджені в заплавах річок. Серед цих озер (їх найбільше в Оржицькій громаді) переважають неглибокі староріччя, які влітку заростають очеретом і міліють. Поверхневі водойми та водотоки Лубенщини слугують ресурсом для розвитку рекреації та любительського рибальства. Підземні води є одним з основних джерел господарсько-питного водопостачання населених пунктів Полтавщини [35]. Чимало

шахтних колодязів та свердловин використовується місцевим населенням.



Рис. 13. Річка Удай – притока другого порядку Дніпра, права притока річки Сула (фото з Google Earth Pro)



Рис. 14. Річка Сула в межах Лубенського району (фото: М. Кочубей, джерело: Google Earth Pro)

Ґрунти і земельні ресурси. Ґрунтовий покрив північно-західної частини Полтавщини відзначається різноманіттям (рис. 15). Ґрунти переважно чорноземні малогумусні та опідзолені, є солонцюваті, лучні та торфо-болотні. Чорноземи поширені переважно на вододілах (під степами), сірі опідзолені ґрунти – під лісами. Основними видами чорноземних ґрунтів є чорноземи глибокі малогумусні та чорноземи реградовані. На заболочених та надмірно зволжених ділянках зустрічаються лучні та лучно-болотні ґрунти, у низинах – торфовища.

У торф'яниках час від часу з'являються локальні загоряння, що перетворюються на небезпечні торф'яні пожежі. Так, у 2021 р. у с. Бутівці Хорольської громади Лубенського району пожежа охопила площу в 3 гектари [36], майже повністю було знищено рослинність. Пожежі на торфовищах трапляються щороку. Вологі торфовища знижують температуру навколишнього середовища територій, забезпечуючи притулок від сильної спеки, і менш імовірно горять під час лісових пожеж, що, своєю чергою, допомагає зберегти якість повітря та уникнути серйозних екологічних наслідків.



Рис. 15. Типи ґрунтів Полтавської області [30]

На ґрунти негативний вплив справляє, як вже зазначалось, водна та вітрова ерозія. Території вздовж крутих берегів річок, що протікають територією Лубенського району, піддавались абразії та зсувам, що позначилось на якості ґрунтового покриву. Захоплення схилових ділянок часто здійснюється сільськогосподарськими підприємцями, що призводить до негативного впливу на земельні ресурси [27; 37]. Несприятливим для якості ґрунтів чинником є надмірне застосування хімікатів та зловживання технічними культурами, серед яких агропідприємства найчастіше обирають соняшник [35].

Земельні ресурси – сукупний природний ресурс, що слугує просторовим базисом розселення і господарської діяльності, а також основним засобом виробництва для сільського та лісового господарства. Розташування території Лубенського району в межах агрокліматичної зони з обмеженою вологістю та високою теплою, переважання родючих ґрунтів – усе це позитивно впливає на розвиток агробізнесу, включаючи рослинництво та тваринництво. У межах району можливе вирощування всіх культур помірного клімату. Земельні ресурси тут представлені в основному сільськогосподарськими угіддями, а сільськогосподарська діяльність є однією з ключових галузей економіки.

Рослинність. На неосвоєних ділянках території району поширена природна рослинність, характерна для лісостепової зони. Основними природними рослинними угрупованнями на території Лубенщини є ліси, заплавні луки, евтрофні болота, степи, а також прибережна водна рослинність. Рослинний покрив видозмінений інтенсивною сільськогосподарською діяльністю, тому сильно відрізняється від природного.

Полтавська область належить до малолісних і лісодефіцитних областей. Основні деревні породи: *дуб, сосна, липа, ясен.* Лісові масиви мають нерівномірне розташування, тяжіють до заплав річок Удай, Сула, Ворскла (рис. 16–17). Лісосмуги (придолинні, прибалочні, прияружні, придорожні, полезахисні) та інші штучні насадження складаються в основному із посадок дуба, білої акації, різних видів тополь, кленів тощо.

Усі ліси належать до категорії лісів з особливим режимом лісокористування, який передбачає обмежене використання лісосировинних ресурсів [35]. Ліси мають важливе господарське, санітарно-гігієнічне, екологічне, рекреаційне та історико-культурне значення. Вони також виконують водоохоронні, водорегулюючі, ландшафтоутворюючі, кліматорегулюючі та ґрунтозахисні функції. Лісові екосистеми відіграють важливу роль у формуванні мисливського господарства (козуля, кабан, заєць-русак, ондатра, бобер, лисиця та перната дичина). Крім того, ліси є ключовим ресурсом для бджільництва, збирання березового соку, грибів, ягід і лікарської сировини, що використовується місцевим населенням [38]. У регіоні активно впроваджуються заходи з лісовідновлення, спрямовані на підвищення лісистості до оптимального рівня, зменшення ерозії рельєфу та покращення можливостей для рекреації на території. Ці ініціативи реалізуються в межах обласної цільової програми розвитку лісового господарства «Ліси Полтавщини на період 2016–2025 роки» [38].



Рис. 16. Масив лісу на лівому березі р. Удай між селами Піски-Удайські та Нетратівка Лубенського району (спутниковий знімок Google Earth Pro)

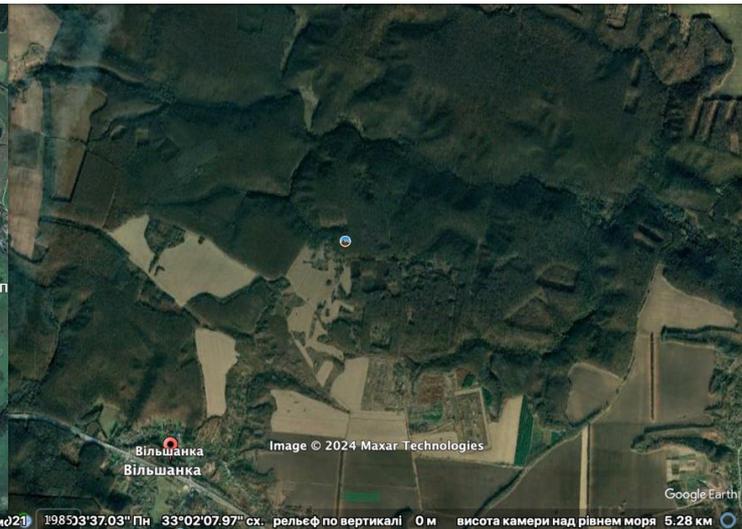


Рис. 17. Масив лісу на північний схід від с. Вільшанка Лубенського району (спутниковий знімок Google Earth Pro)

У Лубенському районі знаходиться багато об'єктів природно-заповідного фонду, з них – 3 об'єкти загальнодержавного значення, а саме: *Хорольський ботанічний сад, Нижньосульський та Пирятинський національні природні парки*. Тут також знаходиться один з об'єктів Смарагдової мережі – «НПП «Пирятинський»» № UA0000077, створений на базі території природно-заповідного фонду України [29]. Найбільш насичена територія, що охороняється державою, Оржицька громада, у межах якої перебуває 21 об'єкт ПЗФ, зокрема 1 – загальнодержавного значення та 20 – місцевого.

Запlavно-болотні природні комплекси є значущою складовою екосистеми Полтавщини, зокрема Лубенщини. Ці угіддя виділяються серед інших українських територій як перспективні для включення до Рамсарського списку водно-болотних угідь, що підлягають міжнародній охороні. На Лубенщині болота здебільшого низинні (евтрофні).

Водно-болотні угіддя Лубенського району позитивно впливають на клімат, пом'якшуючи його, що важливо в контексті глобального потепління. Посеред суші болота відіграють роль губки, що збирає воду під час злив та повеней. Натомість у посушливий період вони компенсують нестачу води, віддаючи її

поступово річкам і озерам, і затримують наступ посухи. Болота важливі для підтримки водного рівня в суміжних біоценозах [39]. Вода, що проходить через біологічний фільтр торфу, очищається від забруднюючих речовин, які осідають у його товщі.

Живлення низинних боліт відбувається атмосферними опадами, поверхневими і ґрунтовими водами. Поверхневі і ґрунтові води відносно багаті на мінеральні солі, і тому тут росте багата евтрофна рослинність (чорна вільха, береза, осока, очерет, хвощ). Торф цих боліт багатий на мінеральні солі, (має зольність 6–7 %), він використовується як добриво [39].

На території Лубенського району переважають агроландшафти [40]. Соснові та листяні ліси, які гармонійно поєднуються з озерами, річками, степами, утворюють мальовничі місцевості – *рекреаційний ресурс* для розвитку зеленого, екологічного, сільського туризму. Вікові дуби – пам'ятки природи – є елементами туристичних маршрутів. Річки ваблять рибалок та любителів водного туризму.

Ситуація з водоспоживанням у річках та інших водоймах оцінюється як задовільна. Серед важливих проблем, про що зазначається в Регіональній доповіді про стан навколишнього природного середовища в Полтавській області, є забруднення підземних вод через наявність нефункціональних артезіанських свердловин та відсутність умов для зберігання відходів V класу небезпеки в населених пунктах [35]. Також не вирішена проблема належного зберігання та утилізації побутових відходів. Загальний екологічний стан Лубенщини оцінюється як задовільний, але існують проблеми, які потребують негайного вирішення, щоб уникнути негативних та необоротних змін.

Таким чином, Лубенський район, з його значними площами торфовищ та сприятливими кліматичними умовами для виникнення пожеж, є регіоном, що потребує особливої уваги з точки зору пожежної безпеки. Комплексне дослідження фізико-географічних особливостей району показало, що його географічне положення, рельєф, клімат, гідрологічний режим та характер ґрунтового покриву створюють передумови для виникнення та поширення торфових пожеж. Особливу загрозу становлять тривалі посушливі періоди, характерні для останніх років, а також антропогенний фактор, пов'язаний з господарською діяльністю людини. Наявність великої кількості

торфовищ, особливо в долинах річок Сула та Удай, робить цей регіон вразливим до пожеж. У цьому контексті тестування методів дистанційного зондування Землі для виявлення небезпеки пожеж, їх своєчасного виявлення, моніторингу, оцінювання наслідків та ін. є важливим завданням.

Нелісові торф'яні пожежі в Лубенському районі: статистика та результати моніторингу методами ДЗЗ. В Україні за гасіння пожеж на відкритих територіях, зокрема на торфовищах, що не входять до складу лісових масивів, відповідає Державна служба з надзвичайних ситуацій (ДСНС). За охорону, захист та відтворення лісів, включаючи гасіння лісових пожеж, які часто можуть поширюватись на торф'яні шари, відповідає Державне агентство лісових ресурсів України. Такий розподіл відповідальності між службами є наслідком історично складених підходів. Кожна служба має свою систему звітності та обліку пожеж. Це пов'язано з різними нормативно-правовими актами, які регулюють діяльність цих служб. Відмінності у форматах звітності можуть ускладнювати агрегацію даних про торф'яні пожежі з різних джерел, що відображається на статистиці. Розрізнені дані, на жаль, не дозволяють отримати повну картину поширення та динаміки торф'яних пожеж в Україні, а також у розрізі адміністративних районів Полтавської області. У дослідженні використано статистику пожеж на нелісових торфовищах.

Інтенсивність пожеж на торфовищах визначається природними та антропогенними чинниками. Дані спостережень однозначно свідчать: *клімат у світі дедалі теплішає, причому поки що немає жодних ознак сповільнення цього процесу.* Останні 10 років стали найтеплішими. З кожним роком фіксуються нові температурні рекорди. Ситуація в світі, звісно, стосується й України. Понад те, потепління в Україні, за свідченням експертів, відбувається навіть стрімкіше. Якщо у світі температура повітря порівняно з кінцем ХІХ ст. підвищилася приблизно на градус, то в Україні – на два [4].

Потепління призводить до збільшення частоти пожеж, у т. ч. на нелісових торфовищах. На рисунку 18 показано динаміку кількості пожеж на нелісових торфовищах в Україні в 2004-2023 роках, максимальний показник зафіксовано саме в 2015 році, який в країні був аномально теплим. Через прихід

«африканської» погоди у липні і серпні 2015 року фіксувались численні температурні рекорди в Україні та багатьох інших країнах Європи, у зв'язку з чим до надзвичайного рівня зростає пожежна небезпека. Навіть у вересні стовпчики термометрів підвищувались до +26...+32 °С.

Частота пожеж на торфовищах має значні коливання в Полтавській області (рис. 19). На переконання авторів, коливання частоти пожеж зумовлено специфічним поєднанням природних та антропогенних чинників. Так, за даними відділу досліджень, статистики пожеж та надзвичайних ситуацій науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, у 2021 році серед причин пожеж на торфових полях 8 із 9 випадків були пов'язані з необережним поводженням з вогнем невстановленої особи, або необережністю під час куріння, необережністю в результаті запалювання стерні. Крім того, у 2024 року уламки збитих безпілотників, які при падінні підпалюють суху рослинність, теж стають причиною пожеж.

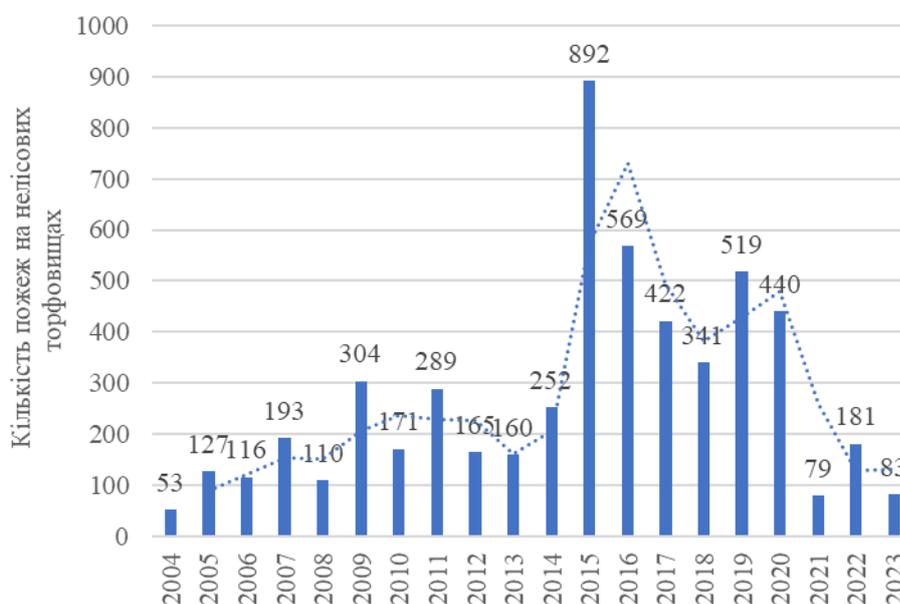


Рис. 18. Кількість пожеж на нелісових торфовищах в Україні в 2004 – 2023 рр. (складено авторами за даними Відділу досліджень, статистики пожеж та надзвичайних ситуацій науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту)

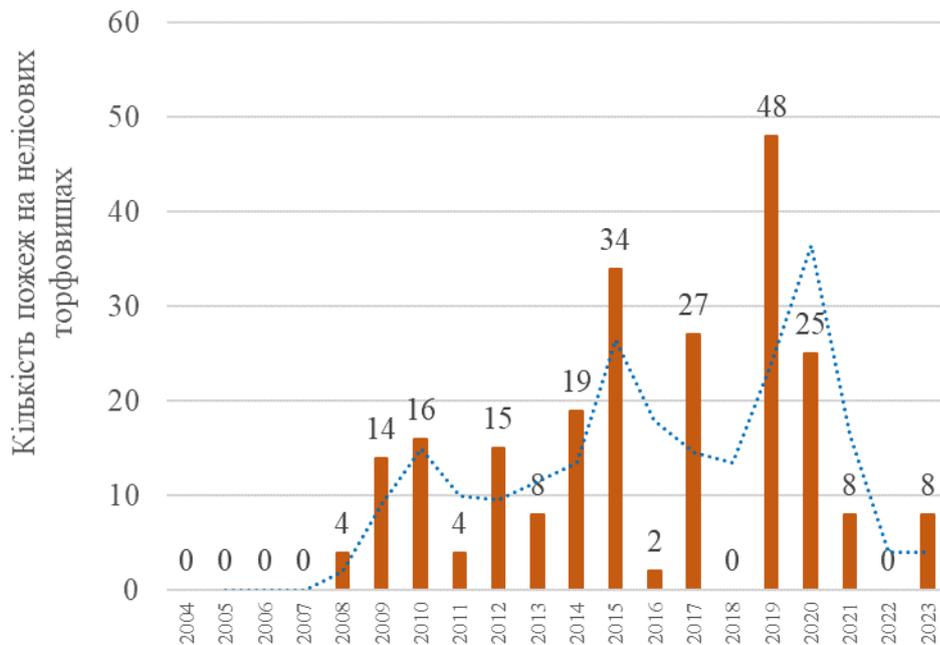


Рис. 19. Кількість пожеж на нелісових торфовищах у Полтавській області в 2004 – 2023 рр. (складено авторами за даними Відділу досліджень, статистики пожеж та надзвичайних ситуацій науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту)

Збитки від пожеж на нелісових торфовищах Полтавщини коливаються з року в рік. Так, за даними науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту на Полтавщині в 2019 р. вигоріло 169,4 га торф'яників, у 2020 році – 43,4 га, у 2021 році – 29,0 га, у 2023 році – 6,1 га.

Згідно з прогнозами, на території України варто очікувати зростання рівня пожежної небезпеки. Підставою для такого прогнозу є підвищення температури повітря, зміщення сезонів, подовження тривалості пожежонебезпечного періоду, збільшення повторюваності та інтенсивності хвиль тепла і стихійних гідрометеорологічних явищ, змін у бік зменшення водних ресурсів місцевого стоку [18].

У новинах «Суспільне Полтава» (репортаж від 4 жовтня 2024 р.) зазначалось, що в 2024 р. в Полтавській області зафіксовано 40 займань на торфовищах, що в 7 разів більше ніж у 2023 році. Найбільш осередок (20 га) пожежі виявлено поблизу Пирятинської громади Лубенського району [41]. Торфовища

горіли також у селах Лісова Слобідка, Заріччя та у Колодні та ін. локаціях Лубенського району.

На рисунку 20 можна побачити, як виглядає ділянка вигорілого торфовища з ознаками тління.

Рисунок 21 добре передає значне задимлення повітря; на деяких ділянках видно клуби диму, що піднімаються з-під землі, що свідчить про триваюче тління торфу на глибині. На поверхні не спостерігається відкритого полум'я, що характерно для торфових пожеж, які часто протікають у вигляді тління.

Гасіння пожежі на торфовищах потребує великої кількості води (рис. 22). За умов інтенсивної пожежі вода швидко перетворюється на пару під впливом високої температури горіння / тління).



Рис. 20. Місце пожежі на торфовищі біля с. Єрківці. Жовтень, 2024 р. Джерело: Суспільне Полтава



Рис. 21. Наслідки торф'яної пожежі в Пирятинській громаді Лубенського району, жовтень 2024 р. Фото з Фейсбук-сторінки громади [43]



Рис. 22. Гасіння пожежі на торфовищі біля с. Єрківці. Жовтень, 2024 р. Площа – близько 9 га. Джерело: Суспільне Полтава

Оцінюючи можливості ДЗЗ для моніторингу пожеж на торфовищах, відзначимо деякі супутникові місії.

Serія Landsat. Ці супутники забезпечують регулярні знімки Землі з високою роздільною здатністю, що важливо для виявлення місця та обставин пожежі на регіональному рівні. Їх дані використовуються для виявлення теплових аномалій, які свідчать про наявність пожеж, а також для аналізу змін у рослинному покриві. Можливості досліджень за допомогою цієї супутникової програми суттєво збільшилися після того, як на носії Landsat 8 були розміщені два теплових канали (TIR) з діапазонами 10.8 та 12.0 мкм. На жаль, періодичність знімання (16 діб) невисока, і не завжди погодні умови дають змогу проаналізувати репрезентативний ряд знімків.

Sentinel – це супутники програми Copernicus Європейського Союзу. Вони оснащені різноманітними датчиками, які дозволяють отримувати детальну інформацію про поверхню Землі, включаючи температуру, вологість та індекс рослинності. Висока періодичність (доба) і просторова розрізненість (10 м проти 30 м у Landsat) дають змогу вести оперативний моніторинг торфовищ практично у реальному часі і на детальному рівні. До недоліків матеріалів, отриманих із супутників Sentinel-2, слід віднести відсутність зйомки у тепловому діапазоні [18]. Sentinel-2 L2A – це продукт обробки даних з супутників Sentinel-2, що пройшов атмосферну корекцію та геометричну реєстрацію. Вплив атмосфери на такому зображенні зведений до мінімуму, а кожен піксель на зображенні відповідає конкретній ділянці земної поверхні.

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Цей високотехнологічний інструмент встановлений на супутниках Terra та Aqua. MODIS сканує Землю в 36 різних спектральних діапазонах, від видимого світла до інфрачервоного випромінювання. Це дозволяє отримувати детальну інформацію про різні характеристики поверхні Землі. Він забезпечує регулярні глобальні знімки з високою частотою оновлення. MODIS використовується для виявлення активних пожеж та моніторингу їх поширення.

VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Цей прилад встановлений на супутнику Suomi NPP. Він забезпечує більш високу роздільну здатність порівняно з MODIS і використовується для виявлення невеликих пожеж та аналізу диму.

Супутникові дані дистанційного зондування дозволяють виявляти пожежі на ранніх стадіях, що сприяє швидкому реагуванню. На супутниковому знімку можна виявляти димову завісу, що утворюється в результаті пожеж. Це дозволяє оцінити масштаби пожежі та її вплив на якість повітря. Порівнюючи знімки, отримані в різний час, можна відстежити динаміку розвитку пожежі. За допомогою даних ДЗЗ можна визначити площу, охоплену пожежею, та оцінити об'єм згорілого торфу, а за допомогою перегляду супутникових знімків території пожежі в картині індексу NDVI – здоров'я рослинності та її відновлення на постраждалих ділянках. Супутникові дані дають змогу оцінити якість повітря, зміни в рослинному покриві та інші наслідки пожеж.

Моніторинг пожежонебезпечності торфовищ полягає в ідентифікації наявних місць горіння та прогнозуванні майбутніх. Перше завдання є відносно нескладним і його вирішення можливе шляхом елементарного візуального аналізу супутникових знімків середнього розрізнення (Landsat та/або Sentinel). Найкраще для цього підходить синтез спектральних каналів в діапазонах SWIR2, SWIR1 та RED: 7, 6, 4 та 12, 11, 8 для сенсорів OLI (Landsat-8) та MSI (Sentinel-2) відповідно. Гарячі точки при цьому будуть забарвлені світло-жовтим, помаранчевим та червоним кольорами, а шлейф диму – світло-синім. Досить чітко виділяються вигорілі ділянки забарвлені в чорний чи темно-синій колір, що сильно контрастує на фоні зеленої рослинності

[18]. Разом з тим, слід зважати на те, що велика частина тліючого торфу горить під землею, поки супутники спостерігають за поверхнею.

У пропонуваному дослідженні для вивчення пожеж на торфовищах було використано відкриті дані супутника Sentinel-2_L2A (з атмосферною корекцією).

Ідентифікація торфових пожеж, що зафіксовані в межах Лубенського району в 2024 році, здійснювалась за оперативними даними, розміщеними в засобах масової інформації (переважно – на сайтах новин Полтавської області та Лубенського району), оскільки на момент виконання дослідження зведеної статистики за 2024 рік не було. Виходячи з наявних даних щодо локацій, на яких було зареєстровано пожежі, та дат, до яких були прив'язані ці дані, здійснювався пошук супутникових знімків. Завантажені супутникові зображення переглядались у різних комбінаціях спектральних каналів, а також у картинах індексів NDVI та NDWI.

За умов сприятливих погодних умов супутник Sentinel-2 надає якісні зображення високої роздільної здатності з періодичністю 5 днів. Завдяки цьому можна виявити місце зародження пожежі і далі побачити її розвиток та наслідки. Із 10-ти пожеж, що сталися на торфовищах у Лубенському районі в серпні-листопаді 2024 році, 8 вдалось ідентифікувати. Невеликі пожежі, що швидко були ліквідовані і залишили після себе згарище площею менше 1 га, не вдалось побачити на супутникових знімках. Однією з причин цього є те, що сцени Sentinel-2 не збігались за часом з періодом пожеж на досліджуваній території.

Наступні супутникові зображення наочно демонструють можливості методів ДЗЗ у виявленні пожеж на нелісових торфовищах.

На рисунку 23 представлено супутниковий знімок Sentinel-2_L2A території поблизу с. Заріччя від 28 вересня 2024 р., відкритий у комбінації каналів SWIR (B12 – B8A – B04). Ця комбінація може бути корисна, щоб оцінити вміст води в рослинах і ґрунті, а також – для виявлення слідів пожеж на пізніх стадіях. На знімку легко ідентифікується місце початку пожежі з ознаками відкритого вогню. Одночасно можна спостерігати на ділянці обстеження високий рівень продуктивності біомаси.

Остаточні наслідки пожежі у вигляді згарища, що на знімку виглядає темно-коричневою плямою, видно на рисунку 24.

Ще одну пожежу на торфових полях було зафіксовано 23.09.2024 р. у долині річки Удай біля с. Нетратівка Лубенського району Полтавської області [43]. Ліквідовано пожежу 30.09.2024 р. на площі 10 га. Для більш точного аналізу слідів пожежі супутникові знімки, завантажені з платформи Copernicus Browser, переглядалися у двох комбінаціях каналів – False Color та SWIR.

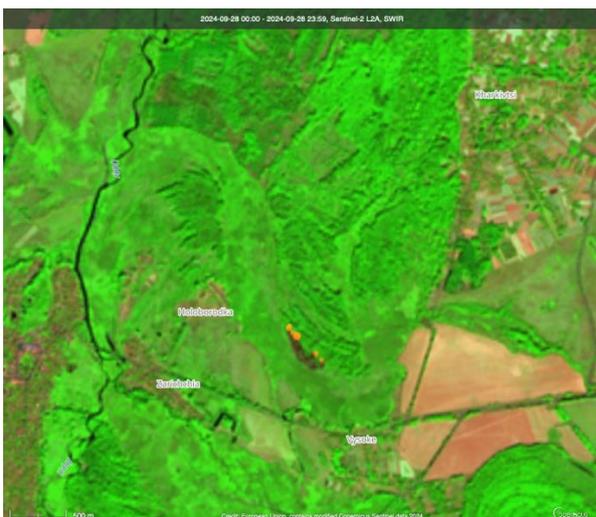


Рис. 23. Початок пожежі на торфовищі на північний схід від с. Заріччя Лубенського району. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_SWIR від 28 вересня 2024 року



Рис. 24. Згарище на торфовищі на північний схід від с. Заріччя Лубенського району. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_SWIR від 20 жовтня 2024 року

False Color – дуже популярний композит штучних кольорів, що складається з близького інфрачервоного, червоного та зеленого спектральних каналів (NIR + Red + Green; у Sentinel-2 це B8+B4+B3). Ця комбінація дозволяє добре виділити згорілі ділянки. На зображенні вони мають темно-коричневий (майже чорний колір), тоді як ділянки з щільною і здоровою рослинністю висвічують відтінками яскраво-червоного (рис. 25). Рослинність дуже сильно відбиває світло в близькому інфрачервоному діапазоні, оскільки хлорофіл поглинає видиме світло, а NIR – відбиває. На згарищах рослинність відсутня або значно пошкоджена. Це означає, що відбиття NIR-випромінювання значно зменшується.

На рисунку 26 представлено той же супутниковий знімок, але в композиті SWIR. На цьому знімку темно-коричневий колір згарища добре контрастує із зеленим кольором здорової біомаси.



Рис. 25. Згарище на торфовищі біля с. Нетратівка. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_False_Color від 20 жовтня 2024 року

Рис. 26. Згарище на торфовищі біля с. Нетратівка. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_SWIR від 20 жовтня 2024 року

У результаті пожежі різко погіршується стан (здоров'я) рослинності, у чому легко переконатись, переглянувши супутникові знімки до пожежі і після неї у картині нормалізованого диференційного вегетаційного індексу NDVI. Здорова рослинність (насичений темно-зелений колір, NDVI наближається до 1,0) видна на рисунку 27 (до пожежі). Після пожежі (рис. 28) індекс NDVI суттєво знизився (ділянки, що до пожежі були темно-зеленими, набули жовтуватих відтінків, що на шкалі відповідає показнику 0-0,2). Зниження значень NDVI свідчить про утворення оголених ділянок або ділянок з незначними залишками рослинності. Як вже зазначалось, надземна біомаса водно-болотної рослинності прямо вказує на здоров'я екосистеми водно-болотних угідь і має вирішальне значення для очищення води, циклу вуглецю та збереження біорізноманіття. Якщо ця біомаса втрачається, стан екосистеми закономірно погіршується.

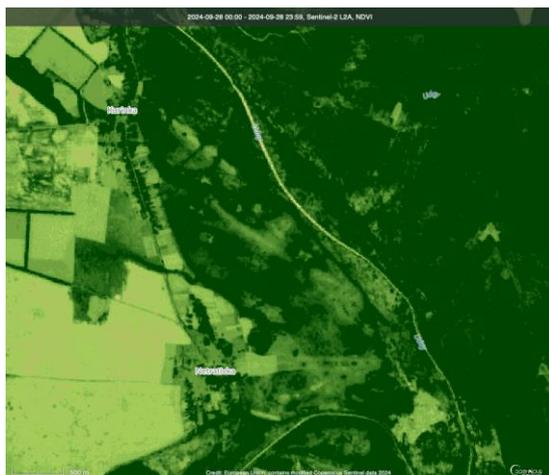


Рис. 27. Ділянка поблизу с. Нетратівка – до пожежі на торфовищі. Супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_NDVI від 28 вересня 2024 р.

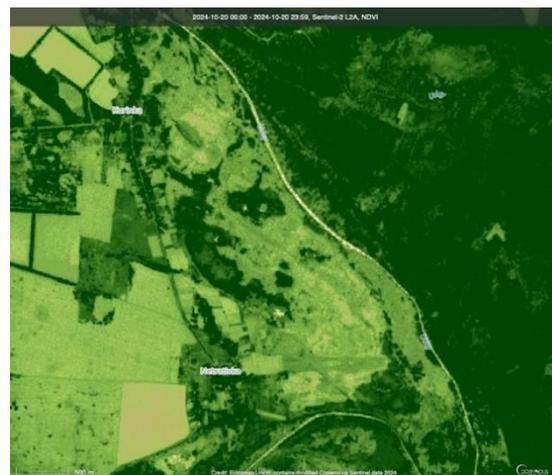


Рис. 28. Ділянка поблизу с. Нетратівка після пожежі на торфовищі. Супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_NDVI від 20 жовтня 2024 р.

Одна з масштабних торфових пожеж відбулась 24 вересня 2024 р. біля села Єрківці Хорольської громади Лубенського району (рис. 29). Пожежа швидко поширилась на лівобережній частині долини річки Сула. Вогонь знищив поклади торфу і рослинність на площі 9 га.



Рис. 29. Пожежа біля с. Єрківці Лубенського району (джерело: khorol_town. Instagram. Дата публікації: 01.10.2024 р.)

На рисунку 30 видно первинний осередок пожежі, на рисунку 31 – велике згарище у картині композиту SWIR. Інтервал між супутниковими знімками – 5 діб, що свідчить про велику швидкість поширення пожежі. Рисунки 32–33 дозволяють побачити те саме, але в користувацькому налаштуванні перегляду знімку (B12 + B11 +B8A).

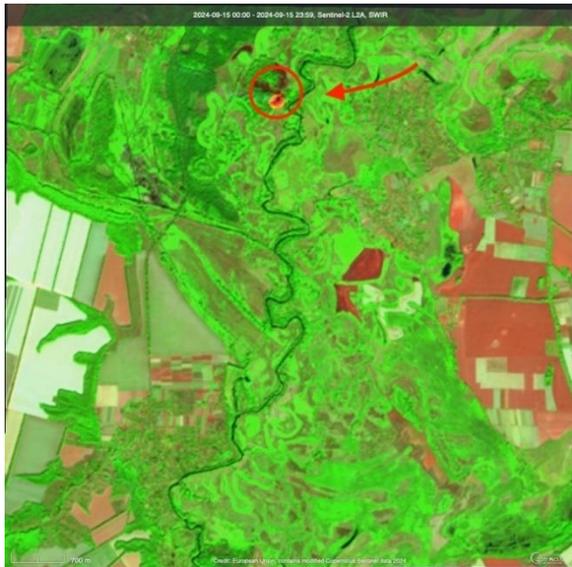


Рис. 30. Первинний осередок займання на торфовищі біля с. Єрківці Лубенського району. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_SWIR від 15 вересня 2024 року

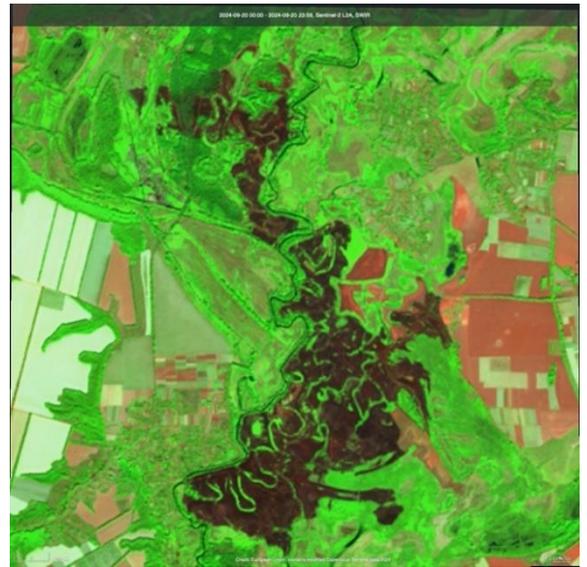


Рис. 31. Згарище на торфовищі біля с. Єрківці Лубенського району. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_SWIR від 20 вересня 2024 року

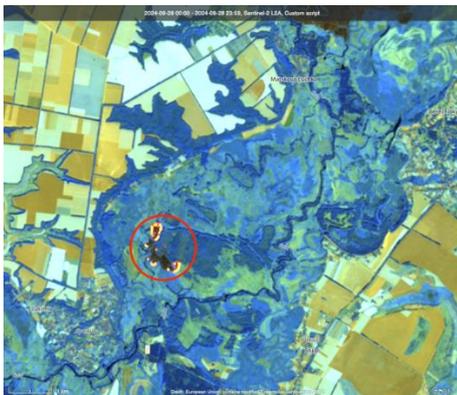


Рис. 32. Первинний осередок займання на південь від с. Мацкова Лучка Sentinel-2_L2A_Custom_12-11-8A від 28 вересня 2024 р.

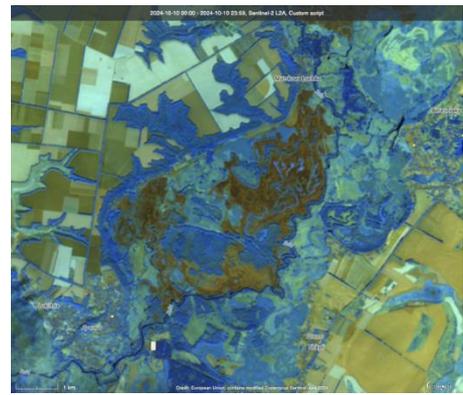


Рис. 33. Згарище від пожежі на торф'яниках на південь від с. Мацкова Лучка Sentinel-2_L2A_12-11-8A від 10 жовтня 2024 р.

Наступні супутникові знімки (рис. 34–35) демонструють значне зниження вологості ґрунту у межах постраждалої від пожежі ділянки торфового поля біля с. Єрківці.



Рис. 34. Індекс NDWI до початку пожежі на торфовищі біля с. Єрківці Лубенського району. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_NDWI від 15 вересня 2024 року



Рис. 35. Індекс NDWI після пожежі на торфовищі біля с. Єрківці Лубенського району. Знімок супутника Sentinel-2_L2A_NDWI від 20 вересня 2024 року

Значення нормалізованого диференційного водного індексу NDWI залишаються на низькому рівні, що свідчить про відсутність значної вегетації та низький вміст вологи в ґрунті. Конфігурація ділянки з низьким рівнем зволоженості повністю повторює контур згарища з попередніх знімків. Низькі значення NDWI на цій ділянці пояснюються швидким випаровуванням води з підігрітого верхнього шару землі, частково – її проникненням через пори вглиб, нездатністю пошкоджених вогнем рослин утримувати вологу та ін. Відновлення рослинності після пожежі займає тривалий час. До того часу, поки не з’явиться нова рослинність, NDWI буде низьким.

Зазначимо, що під час дослідження пожеж на торфовищах не слід виключати використання супутникових знімків, відкритих для перегляду у природних кольорах. За умов виникнення значної пожежі, що супроводжується сильним задимленням, осередки займання можуть бути достатньо чітко візуалізовано (рис. 36). Якщо в цей час має місце вітер, то за напрямком, у якому тягнеться дим, можна робити певні припущення щодо подальшого поширення пожежі. Густіший і темніший дим, як правило, вказує на більш активну фазу пожежі та швидше

поширення. Форма димової хмари здатна дати підказки про характер горіння та рельєф місцевості. Наприклад, високі стовпи диму можуть вказувати на сильне горіння, а низькі, розтягнуті хмари – на більш повільне поширення.



Рис. 36. Початок пожежі торфополів з видимим задимленням південніше с. Колодна Оржицької селищної громади Лубенського району. Sentinel-2_L2A_True від 28 вересня 2024 р.

Наступну масштабну пожежу торфових полів, яка почалась 28 вересня 2024 р. і швидко поширилась на ділянці від с. Колодна до с. Мацкова Лучка Оржицької селищної громади, ідентифіковано за допомогою композиту SWIR (рис. 37–38).



Рис. 37. Початок пожежі торфополів південніше с. Колодна Оржицької селищної громади Лубенського району. Sentinel-2_L2A_SWIR від 28 вересня 2024 р.



Рис. 38. Згарище від пожежі торфополів від с. Колодна до с. Мацькова Лучка Оржицької селищної громади Лубенського району. 2_L2A_SWIR від 23 жовтня 2024 р.

Порівняння супутникових знімків території, що постраждала від пожежі, у картині нормалізованого диференційного вегетаційного індексу NDVI дозволяє переконатись, що наслідками горіння торфу стало значне зниження вологості ґрунту та відсутність рослинності (рис. 39–40).

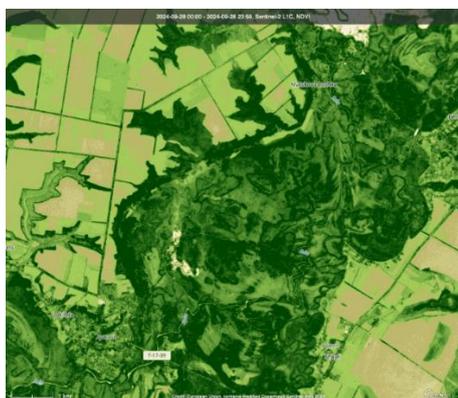


Рис. 39. Початок пожежі торфополів поблизу с. Колодна Оржицької селищної громади Лубенського району Sentinel-2_L2A_NDVI 28 вересня 2024 р.

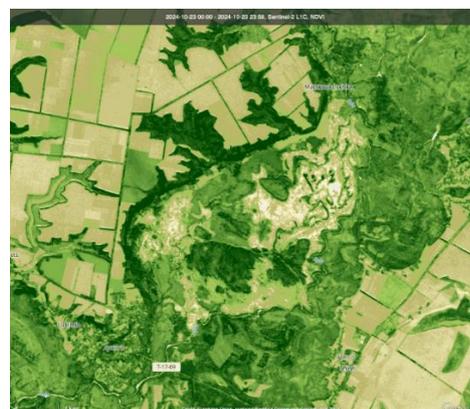


Рис. 40. Згарище від пожежі торфополів поблизу с. Колодна Оржицької селищної громади Лубенського району. Sentinel-2_L2A_NDVI від 23 жовтня 2024 р.

На ділянках, що мали рослинність, але позбулись її, індекс NDVI має низькі (наближені до нуля) значення, ці фрагменти на знімку мають світле забарвлення.

Наступна пожежа, що зафіксована поблизу с. Староаврамівка Лубенського району, представлена на супутникових знімках у композиті SWIR (рис. 41) та в картині індексу NDWI (рис. 42). Ідентичність контурів постраждалої від пожежі ділянки на обох знімках свідчать про те, що індекс NDWI може більш-менш точно окреслювати площу пожежі. Наочним підтвердженням зниження індексу NDVI в результаті пожежі було обрано контрольну ділянку (рис. 43), для якої побудовано графік динаміки індексу NDVI (рис. 44).



Рис. 41. Згарище від пожежі на торфовищі поблизу с. Староаврамівка Лубенського району. Супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_SWIR від 15 вересня 2024 р.



Рис. 42. Пожежа торфовища поблизу с. Староаврамівка Лубенського району. Супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_NDWI від 20 вересня 2024 р. наочно демонструє зниження індексу вологості в межах згарища

Швидкість відновлення рослинності залежить від масштабів пошкодження верхнього шару ґрунту, втрати органічної речовини та зміни мікрокліматичних умов. Для оцінки ефективності природного відновлення або заходів з рекультивації необхідно проводити тривалий моніторинг з використанням супутникових даних.



Рис. 43. Контрольна ділянка в межах згарища на схід від с. Староаврамівка Лубенського району в картині індексу NDVI від 15 вересня 2024 р.

Крім вищезазначених випадків торфових пожеж візуалізовано на супутникових знімках у композиті SWIR (рис. 45–46) пожежі поблизу с. Бутівці Хорольської МГ (початок 17.08.2024 р.) та с. Ломаки Лубенської МГ (початок 10.09.2024 р.).

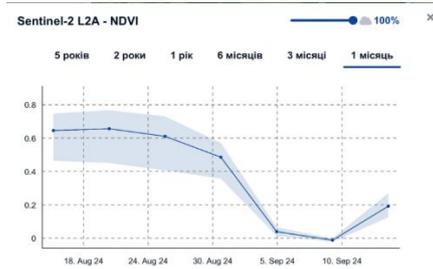


Рис. 44. Графік динаміки індексу NDVI впродовж місяця (серпень-вересень) на контрольній ділянці східніше с. Староаврамівка Лубенського району



Рис. 45. Пожежа торфовища на південний захід від с. Бутівці Хорольської МГ Лубенського району. Супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_SWIR від 20 серпня 2024 р.



Рис. 46. Пожежа торфових полів на північ від с. Ломаки Лубенського району. Супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_SWIR від 20 вересня 2024 р.

Для вивчення географії торфових пожеж було укладено карту в сервісі Felt з позначенням зафіксованих в серпні-листопаді випадків горіння торфу (рис. 47). Як бачимо, основні осередки пожеж прив'язані до торфовищ, які утворились у заплавах річок Сула, Удай та їхніх приток (Сліпорід, Гнила Оржиця та ін.), на низовинах та в долинах. Часто згарища мають витягнуту форму, паралельну руслу річки.

Таким чином, проведені дослідження пожеж на нелісових торфовищах Лубенського району за допомогою даних дистанційного зондування дозволило встановити, що інтенсивність цих явищ значною мірою залежить від кліматичних змін та антропогенного впливу. Зростання середньої температури повітря призводить до збільшення частоти та масштабів пожеж. Аналіз супутникових знімків демонструє, що основні осередки пожеж приурочені до заплав річок та низинних ділянок. Перегляд знімків у композитах False_Color та SWIR допомогло ідентифікувати вигорілі ділянки та визначити площу. Використання індексів NDVI та NDWI дозволило оцінити вплив пожеж на стан рослинності та вологість ґрунту. Отримані результати підтверджують необхідність використання методів

дистанційного зондування у вивченні та профілактиці пожеж на нелісових торфовищах.



Рис. 47. Поселення Лубенського району Полтавської області, поблизу яких у серпні-жовтні 2024 р. зафіксовано пожежі торфовищ (зроблено авторами у сервісі Felt)

Рекомендації щодо профілактики пожеж на торфовищах у Лубенському районі Полтавської області. Неконтрольовані пожежі на торфовищах несуть збитки для регіону. Від пожеж страждають місцеві мешканці, їхні господарства, сільськогосподарські угіддя, флора і фауна (елементи біорізноманіття), ґрунти, водойми, екосистема. Якщо сталася пожежа і порушується хоча б один із компонентів екосистеми, наприклад, знищується природна рослинність, тоді постраждає вся екосистема торф'яних боліт. У зв'язку з цим важливо посилити дії щодо профілактики торф'яних пожеж (профілактика краще, ніж «лікування»).

Оскільки природна висока вода найважливіший фактор у створенні та підтримці природних торфовищ, то осушення є, мабуть, найважливішим негативним впливом на торфовища [44]. Підвищений інтерес до «поліпшення» торфовищ та перетворення їх через осушення на сільськогосподарські угіддя в ХХ ст. призвів до появи екологічних проблем і підвищення пожежної небезпеки. Ситуація кардинально змінюється на гірше, коли осушені торфовища занедбані, зневоднені і не використовуються. Те саме стосується і дренажних систем.

Важливим напрямом попередження пожеж є контроль торф'яних ґрунтів на вологість, як індикатора попередження пожеж. Це можна робити за допомогою і наземних методів (польові + лабораторні), і методів ДЗЗ (використовуючи індекс NDWI та ін.)

Встановлення дренажних каналів для лісництва сприяє запобіганню лісових, а відтоді – і торф'яних пожеж. Оскільки вогонь часто приходиться на торфовища зовні, то протипожежна профілактика має поширюватись на всі території навколо – ліси, сільськогосподарські угіддя, рекреаційні зони. У зв'язку з цим доцільно розробити концепцію створення буферних зон навколо торфовищ, в яких діяльність із забудови та землекористування може контролюватися для мінімізації ризику пожежі. Особливої уваги потребують заплави річок, особливо річки Сула, де є значні площі торф'яників, і ті її ділянки, що знаходяться відносно близько до забудованої території (поселення).

Важливо сприяти реабілітації деградованих торфовищ шляхом відновлення водних режимів і лісового покриву для зменшення ризику пожеж і збільшення біорізноманіття. Необхідно слідкувати за тим, щоб рівень води на заболочених територіях зберігався на природному максимальному рівні, коли кількість опадів перевищує випаровуваність. Додаткове зволоження торфовищ є профілактичним щодо небезпеки загорянь заходом. У цьому допоможе створення штучних перешкод у вигляді земляної греблі або дамби навкруги торф'яника для утримання танення снігу або накопичення дощової води. Разом з тим, слід робити це обережно, щоб рослинність, яка утворилась на цих територіях в умовах дефіциту вологи, не постраждала від підняття рівня ґрунтових вод. Оскільки підвищений рівень води в річках знижує ризик виникнення пожеж на торфовищах, слід дбати про очищення джерел живлення річок, відновлення заплави шляхом вилучення із сільськогосподарського обігу, створення заплави лісів і луків, збереження лісів у басейнах річок.

Необхідними для профілактики пожежної небезпеки на торфовищах є наступні заходи:

- аналіз причин загоряння торфовищ; визначення періоду найбільшої небезпеки виникнення торф'яних пожеж за

результатами супутникового моніторингу метеорологічної ситуації та вивчення ступеня зволоженості ґрунтів;

- аналіз наслідків пожеж (площа згарища, постраждала рослинність, погіршення якості ґрунтів, наслідки для тваринного світу тощо);

- багаторічний моніторинг відновлення постраждалих від пожежі ділянок.

Важливим напрямом для попередження поширення пожеж є робота з місцевими мешканцями – фермерами, орендарями земельних ділянок, школярами. Основними заходами тут мають бути такі: *інформування про початок пожежонебезпечного періоду, проведення роз'яснювальної роботи щодо недопущення підпалу рослинних залишків та засмічених територій, інформування щодо наслідків горіння торфовищ та шкоди для здоров'я людей та екосистеми, попередження про наслідки скоєння пожеж.* Рекомендується розробити програми інформування громадськості та просвітницькі програми для шкіл, місцевих жителів та груп користувачів з метою посилення активної участі та підтримки ключових цільових груп у контролі та профілактиці пожеж на торфовищах.

Необхідно в найбільш небезпечні періоди (весна, кінець літа – початок осені) вводити повну заборону на всі форми відкритого спалювання (рослинних залишків, бур'янів, сміття). Оскільки суха рослинність є провідником пожеж, доцільно залучати відповідну техніку для прибирання мертвих чагарників та дерев.

Окремий напрям запобігання пожежам – це створення необхідної матеріальної бази для гасіння пожеж. Також необхідно забезпечувати регулярні навчання осіб, які можуть бути залучені до професійного гасіння осередків займання. Потрібно знання та вміння оновлювати разом із поточними розробками на основі останніх/оновлених технологій і знань щодо гасіння пожежі.

Для швидкого реагування на погіршення погоднокліматичних умов та забезпечення можливості швидкого реагування на пожежу, потрібно підтримувати в належному стані системи водопостачання, створювати протипожежні водойми в місцях найбільшого ризику виникнення пожеж.

Тема захисту і збереження торфовищ, їх раціонального використання має регулярно висвітлюватися в засобах масової

інформації, адже однією з першопричин торфових пожеж є антропогенний чинник – людська недбалість. Для перевірки та просування підходів сталого управління ресурсами торфовищ доцільно створити демонстраційні проекти. Важливо допомогти громадськості більш свідомо ставитися до матеріальних і нематеріальних цінностей торфу та водно-болотних угідь. Вітається виготовлення плакатів/листівок, знаків та попереджувальних дошок щодо небезпеки торфових та лісових пожеж (рис. 48).



Рис. 48. Приклад попереджувального інформаційного плакату для паліїв сухої трави [45]

Достатнє фінансування є дуже важливим, воно має бути доступним для ефективної реалізації планових заходів боротьби з неконтрольованим спалахом пожеж. Треба сприяти перерозподілу коштів з інших статей витрат на профілактику пожеж, використовувати також усі доступні джерела, у т. ч. ті, що надаються міжнародними донорськими спільнотами, що опікуються екологічними проектами, зокрема в частині збереження і раціонального використання водно-болотних угідь. Необхідне фінансування потрібно для придбання інструментів та обладнання. Важливо також резервувати достатні кошти для відшкодування збитків, яких зазнало населення через пожежу.

Отже, аналіз причин виникнення та наслідків пожеж на торфовищах Лубенського району виявив нагальну потребу у впровадженні комплексу профілактичних заходів (рис. 49), які можна рекомендувати і для всієї Полтавської області.



Рис. 49. Комплекс заходів для профілактики торф'яних пожеж (узагальнено авторами)

Головними причинами пожеж є антропогенний фактор, зміна кліматичних умов та осушення торфовищ. Додаткові виклики пов'язані з російсько-українською війною. Наслідки торф'яних пожеж можуть бути катастрофічними: *шкода здоров'ю населення, руйнування екосистем, забруднення повітря, втрата біорізноманіття та економічні збитки* [46].

Пропонований комплекс заходів передбачає: *систематичний моніторинг; відновлення природного водного режиму; протипожежні заходи, інформування та освіта населення; підготовка до гасіння пожеж тощо*. Ключову роль у системі заходів, спрямованих на профілактику торф'яних пожеж, відіграє дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Воно дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо управління природними ресурсами та знижувати ризик виникнення катастрофічних наслідків. Основним напрямом застосування ДЗЗ можуть бути:

- моніторинг вологості ґрунту у межах торфових полів;
- виявлення гарячих точок;
- оцінка площі пожеж та їх динаміки;

- картування пожежонебезпечних зон;
- моніторинг відновлення рослинності.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з наступними питаннями:

- стан торфовищ і управління ними щодо біорізноманіття;
- пожежі на торфовищах і кліматичні зміни; розумне гідрологічне управління землею для запобігання пожежам;
- вивчення вітчизняного та зарубіжного досвіду запобігання та боротьби з торфовими пожежами, ліквідацією їх наслідків.

Проведене дослідження дозволило зробити наступні висновки:

1. Під технологією дистанційного зондування Землі розуміють комплекс методів, за допомогою яких отримують інформацію про об'єкти на поверхні Землі на основі випромінювання, відбитого або випущеного від цих об'єктів. Технологія ДЗЗ дозволяє отримувати детальну інформацію про земну поверхню, незалежно від погодних умов та недоступності територій для наземних досліджень. Завдяки здатності фіксувати електромагнітне випромінювання в широкому спектрі, ДЗЗ забезпечує багатовимірні дані у вигляді супутникових та аерознімків, за допомогою яких можна вивчати різноманітні природні процеси та явища, у тому числі на труднодоступних територіях. Комбінація ДЗЗ з іншими методами досліджень дозволяє отримати більш повну та достовірну інформацію про стан навколишнього середовища, відстежувати надзвичайні явища, викликані природними або антропогенними чинниками, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

2. Прикладом несприятливих, іноді надзвичайних, явищ, зумовлених природними та антропогенними чинниками, є торф'яні пожежі. Під торф'яними пожежами розуміють неконтрольований процес димного горіння торфу внаслідок природного або штучного загоряння, який може мати значну тривалість. Торф'яні пожежі можна класифікувати за різними критеріями: *глибиною, інтенсивністю горіння, швидкістю поширення.*

На відміну від звичайних пожеж, торф'яні пожежі мають наступні особливості: *повільне горіння і тління* (можуть тривати тижнями і навіть місяцями), *глибинне поширення* (вогонь проникає вглиб торфовища на значну глибину), *труднощі гасіння* (вода не досягає глибинних шарів торфу, а лише випаровується), *непередбачуваність* (можуть раптово спалахувати і змінювати напрямок поширення), *довготривалі наслідки* (для довкілля, людей, економіки). З точки зору екології, горіння торфовищ є наслідок пожеж можна розглядати як локальну екологічну кризу, що призводить до забруднення атмосферного повітря та ґрунтів, деградації та ерозії ґрунтово-земельних ресурсів, втрат біорізноманіття та унікальних екосистем торфовищ. Торф'яні пожежі мають негативні наслідки для здоров'я людей, для місцевих економік. Усе вищезазначене актуалізує завдання дослідження торф'яних пожеж методами дистанційного зондування Землі.

3. Тема дослідження перебуває на стику наук про Землю, географії, дистанційного зондування Землі, геоінформатики, екології, що потребувало використання теорії та методів цих наук. Основними етапами дослідження стали: *концептуальний, теоретико-методологічний, збір даних, обробка та аналіз даних, підсумковий*. Для досягнення мети і завдань використано загальнонаукові методи (аналіз, синтез, порівняння, узагальнення, класифікація, моделювання) та спеціальні (дистанційного зондування Землі, картографічний). Для обстеження площ згорілих торфовищ та характеристики постраждалих ділянок було використано супутникові знімки Sentinel-2 L2A з просторовою розрізненістю 10 м для видимих та близького інфрачервоного каналів, отримані з сервісу Copernicus Browser. Різномасштабні супутникові знімки до і після пожежі переглядалися у комбінаціях каналів True, SWIR, а також в картинах індексів NDVI та NDWI. Пропонована методика дослідження не є досконалою, може бути доповнена, удосконалена залежно від технічних, фінансових можливостей і ступеня володіння дослідником методами ДЗЗ.

4. Лубенський район, з його значними площами торфовищ та сприятливими кліматичними умовами для виникнення пожеж, є регіоном, що потребує особливої уваги з точки зору пожежної безпеки. Комплексне дослідження фізико-географічних

особливостей району показало, що його географічне положення, рельєф, клімат, гідрологічний режим та характер ґрунтового покриву створюють передумови для виникнення та поширення торф'яних пожеж. Особливу загрозу становлять тривалі посушливі періоди, характерні для останніх років, що в поєднанні з антропогенним фактором сприяє частішанню загорань. Наявність великої кількості торфовищ, особливо в долинах річок Сула та Удай, робить цей регіон вразливим до пожеж.

5. Космічні знімки супутника Sentinel-2 (просторова роздільна здатність 10 м, періодичність знімання 5 днів) дозволяють виявляти пожежі на ранніх стадіях, що сприяє швидкому реагуванню. На супутниковому знімку можна виявляти димову завісу, що утворюється в результаті пожеж. Це допомагає оцінити масштаби пожежі та її вплив на якість повітря. Порівнюючи знімки, отримані в різний час, можна відстежити динаміку розвитку пожежі. За допомогою інструментів платформи Copernicus Browser можна визначити площу, охоплену пожежею, та оцінити об'єм згорілого торфу. Перегляд супутникових знімків території пожежі в картині індексу NDVI допомагає виявити стан здоров'я рослинності та її відновлення на постраждалих ділянках. Супутникові дані дають змогу оцінити якість повітря, зміни в рослинному покриві та інші наслідки пожеж.

Із 10-ти пожеж торфовищ, зафіксованих в серпні-листопаді 2024 року, на супутникових знімках вдалось ідентифікувати 8. Зроблений авторами аналіз супутникових знімків демонструє, що основні осередки пожеж приурочені до заплав річок та низинних ділянок. Перегляд знімків у композитах False_Color та SWIR допоміг ідентифікувати вигорілі ділянки та визначити їх площу. Використання індексів NDVI та NDWI дозволило оцінити вплив пожеж на стан рослинності та вологість ґрунту. Отримані результати підтверджують необхідність використання методів дистанційного зондування у вивченні та профілактиці пожеж на нелісових торфовищах.

6. Інтенсивність пожеж на торфовищах значною мірою залежить від кліматичних змін та антропогенного впливу. Зростання середньої температури повітря призводить до збільшення частоти та масштабів пожеж. Додаткові виклики пов'язані з російсько-українською війною. Наслідки торфових

пожеж можуть бути катастрофічними: *шкода здоров'ю населення, руйнування екосистем, забруднення повітря, втрата біорізноманіття, економічні збитки.*

Пропонований комплекс профілактичних заходів щодо торфових пожеж передбачає: *систематичний моніторинг; відновлення природного водного режиму; протипожежні заходи, інформування та освіта населення; підготовка до гасіння пожеж тощо.* Ключову роль у системі заходів, спрямованих на профілактику торфових пожеж, відіграє дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Воно дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо управління природними ресурсами та знижувати ризик виникнення катастрофічних наслідків. Основним напрямками застосування ДЗЗ можуть бути: *моніторинг вологості ґрунту в межах торф'яних полів; виявлення гарячих точок; оцінка площі пожеж та їх динаміки; картування пожежонебезпечних зон; обрахунок площ пошкодженої пожежами рослинності, моніторинг відновлення рослинності.*

Список використаних джерел

1. Pysarenko R. Features of the use of remote sensing data in the system of topographic support of the Armed Forces of Ukraine. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military specialised sciences.* 2023. Issue 53 (1(53)). P. 46–51. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2023.53.46-51> (in Ukrainian).
2. Consequences of climate change. *Climate Action. European Comission:* website. URL: https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en (in English).
3. Zibtsev S. V., Myroniuk V. V., Soshenskyi O. M., Koren M. S., Koren V. A. Spatial and temporal distribution of fires in natural landscapes of Rivne region. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine.* 2019. Vol. 29 (6). P. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290603> (in Ukrainian).
4. Vyshnevsky V., Kayan V. Global warming and Ukraine. *Uriadovyi Kurier:* website. 02.07.2019. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/globalne-poteplinnya-ta-ukrayina/> (in Ukrainian).
5. Remote Sensing. GIS. Maps. *Knowledge Resource for Remote Sensing, GIS, GPS and Advancements in Geomatics:* web-site.

08.04.2022.

URL:

<https://rsgislearn.blogspot.com/2007/04/electromagnetic-spectrum.html> (in English).

6. Daifeng Peng, Xuelian Liu, Yongjun Zhang, Haiyan Guan, Yansheng Li, Lorenzo Bruzzone. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Volume 136. February 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104282> (in English).

7. Abdelmajeed A. & Juszczak R. Challenges and Limitations of Remote Sensing Applications in Northern Peatlands: Present and Future Prospects. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16 (3), 591. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16030591> (in English).

8. Lishchenko L. P., Pazynych N. V. Monitoring of peatlands for detection of fire hazardous areas using remote sensing methods. *Ukrainian Journal of Remote Sensing of the Earth*. 2016. № 8. P. 29–39. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujsr.2016.8.72> (in Ukrainian).

9. McCarter C. P. R., Clay G. D., Wilkinson S. L., Sigmund G., Davidson S. J., Taufik M., Page S., Shuttleworth E. L., McLagan D., Chenier G., Clark A., & Waddington J. M. Peat fires and legacy toxic metal release: An integrative biogeochemical and ecohydrological conceptual framework. *Earth-Science Reviews*. 2024. Vol. 256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104867> (in English).

10. Turetsky M. R., Benscoter B., Page S., Rein G., van der Werf G. R., Watts A. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*. 2015. № 8. P. 11–14. URL: <https://www.nature.com/articles/ngeo2325> (in English).

11. W. H. Diemont, P. J. M. Hillegers, H. Joosten, K. Kramer, H. P. Ritzema, J. Rieley & H. Wösten. Fire and peat forests, what are the solutions? *Conference: Workshop on Prevention & Control of Fire in Peatlands* (19–21 March, Kuala Lumpur, Malaysia). 2002. P. 41–50. URL: https://www.researchgate.net/publication/40116523_Fire_and_peat_forests_what_are_the_solutions#fullTextFileContent (in English).

12. Bondar O. I., Konishchuk V. V., Drebot O. I., Havrylov S. O., Konovalchuk V. K., Blinkova O. I., Pashkevych N. A., Shupova T. V. Substantiation of the balanced development of peat extraction industry taking into account environmental criteria. *Ecology of bogs and peatlands: (a collection of scientific articles)* / editor-in-chief V. Konishchuk. Kyiv: DIA, 2012. P. 18–6. URL:

https://www.agroeco.org.ua/images/Documents/Konischuk/Zbirnik_e_col_bolit_i_torfovisch%202012.pdf (in Ukrainian).

13. Peat extraction in Ukraine: the feasibility of peatland restoration. *European Business Association*: website. 16.10.2022. URL: <https://eba.com.ua/vydobutok-torfu-v-ukrayini-dotsilnist-vidnovlennya-torfovyyshh/> (in Ukrainian).

14. 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> (in English).

15. Shynkarenko L. If the city is in smoke from peat fires. *Emergency situation*: website. 16.06.2020. URL: <https://ns-plus.com.ua/2020/06/16/yakshho-misto-v-dymu-vid-torf-yanyh-pozhezh/> (in Ukrainian).

16. Kirillov Y. B., Kovalyshyn V. V., Sukach R. Y. Fire hazard of peatlands, peat mines and methods and means of increasing the efficiency of their extinguishing. *Emergency situations: safety and protection*: materials of the IX All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation. Cherkasy: ChIPB named after the Heroes of Chernobyl of the National Center for Emergencies of Ukraine, 2019. P. 59–61. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/6480/1/Ковалишин.pdf> (in Ukrainian).

17. Peatlands around the world: under threat almost everywhere. *Heinrich-Böll-Stiftung*: website. 11.09.2023. URL: <https://eu.boell.org/en/2023/09/11/peatlands-around-world-under-threat-almost-everywhere> (in English).

18. Lishchenko L. P., Shevchuk R. M., Filipovych V. E. Methodology of satellite monitoring of peatlands for determining their fire hazardous condition and assessing the risks of fires on them. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*. 2022. № 9 (1). P. 23–23. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.210> (in Ukrainian).

19. Fesiuk V., Moroz I., Chyzhevska L., Karpiuk Z., Polianskyi S. Burnt peatlands within the Volyn region: state, dynamics, threats, ways of further use. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. № 29 (3). P. 483–494. DOI: <https://doi.org/10.15421/112043> (in English).

20. Towards climate-responsible peatlands management. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Rome. 2014. 117 p. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ad1f0170-425e-4d85-9116-d2dc1c921e3b/content> (in English).
21. Bobrova V. Ukraine on fire: dangerous peat fires. *Unian*: website. 19.08.2005. URL: <https://www.unian.ua/ecology/1113456-ukrajina-u-vogni-nebezpechni-torfyani-pojeji.html> (in Ukrainian).
22. Huang X., & Rein G. Upward-and-downward spread of smoldering peat fire. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2019. № 37 (3). P. 4025–4033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.05.125> (in English).
23. Rein G., Huang X. Smouldering wildfires in peatlands, forests and the arctic: Challenges and perspectives. *Curr Opin Environ Sci Health*. Volume 24. December 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100296> (in English).
24. Hu Y., Fernandez-Anez N., Smith T. E. L. & Rein G. Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes. *International Journal of Wildland Fire*. 2018. Vol. 27 (5). P. 293–312. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF17084> (in English).
25. Trokhymenko G., Litvak S., Litvak O., Andreeva A., Rabich O., Chumak L., Nalysko M., Troshyn M., Komarysta B., Sopov D. Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 5. № 10 (125). 2023. P. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289289> (in English).
2024. P. 998–1012. DOI: <http://doi.org/10.53550/EEC.2024.v30i03.006> (in English).
26. Shaorun Lin, Yanhui Liu and Xinyan Huang. How to build a firebreak to stop smouldering peat fire: insights from a laboratory-scale study. *International Journal of Wildland Fire*. 30 (6). P. 454–461. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF20155> (in English).
27. Cherednychenko I. V., Lozinska T. P., Ermakov V. V. The influence of climatic factors on erosion processes and relief formation. *Spatial development: Scientific collection*. 2024. № 8. P. 492–506. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.8.492-505> (in Ukrainian).

28. Shevchuk S. M. Planning the socio-economic space of Poltava region on the basis of the theory of growth poles. *Economy and society*. 2023. № 52. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-91> (in Ukrainian).

29. Poltava region. Resource Klondike. *Ukrainian Week*: website. 30.09.2016. URL: <https://tyzhden.ua/poltavshchyna-resursnyj-klondajk/> (in Ukrainian).

30. Soils of Poltava region: interactive map. *Superagronom.com. The main website for agronomists*: website. URL: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#w15> (in Ukrainian).

31. Environmental passport of Poltava region (2020). Poltava, 2021. 183 p. URL: <https://eko.adm-pl.gov.ua/ekopasp20.pdf> (in Ukrainian).

32. Lubny district. *Encyclopaedia of Modern Ukraine*: website. Vol.18. 2017. URL: <https://esu.com.ua/article-58924> (in Ukrainian).

33. Results of the meteorological summer in Poltava region. *Poltava Regional Centre for Hydrometeorology (official Facebook page)*: website. 10.10.2024. URL: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1055246593053761&set=pb.100057052915944.-2207520000&type=3> (in Ukrainian).

34. Development of irrigation in Poltava region. *Department of Agricultural Development of Poltava Regional State Administration*: website. 01.05.2023. URL: <https://apk.adm-pl.gov.ua/novina/rozvitok-zroshennya-na-teritoriyi-poltavskoyi-oblasti> (in Ukrainian).

35. Regional Report on the State of the Environment in Poltava Oblast in 2019. Poltava: Department of Ecology and Natural Resources of the Poltava Regional State Administration. 2020. 177 p. URL: https://drive.google.com/file/d/13W19Ohtv52fX1_b1FFdlQS3vHIoyaQCz/view (in Ukrainian).

36. Pisarenko P. V., Samoilik M. S., Dichenko O. Y. Landscape and ecological diversity of the Poltava region. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy: Agriculture. Ecology*. 2019. № 1. P. 127–133. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2019/01/16.pdf> (in Ukrainian).

37. Reznichenko V. P., Kolomiets L. V., Cherednychenko I. V. Use of agrotechnologies for conservation of soil resources and

improvement of soil quality. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: agronomy and biology*. № 2. 2024. P. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.2.7> (in Ukrainian).

38. Regional Target Programme for Integrated Forestry Development «Forests of Poltava Region for the Period 2016–2025». Poltava Regional Council, 29 April 2016. 48 p. (in Ukrainian).

39. Bogs of Ukraine. *Types of bogs*: website. URL: <https://ukrboloto.blogspot.com/p/blog-page.html> (in Ukrainian).

40. Sopov D. S., Havryushenko H. V., Kirpychova I. V. To the classification of anthropogenically altered lands in the east of Ukraine. *Ecological sciences: a scientific and practical journal*. 2022. № 6 (45). P. 183–187. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.30> (in Ukrainian).

41. Semysal K., Vesna T. «Fire at a great depth»: the number of peat fires in Poltava region has increased almost seven times. *Suspilne Poltava*: website. 4.10.2024. URL: <https://suspilne.media/poltava/850953-vogon-na-velikij-glibini-na-poltavsini-majze-u-sim-raziv-zbilsilas-kilkist-torfanih-pozez/> (in Ukrainian).

42. Murdza Y. Ten peatlands of Poltava region are burning because of grass burning. *CONTENT (you create the changes)*: website. 01.10.2024. URL: <https://zmist.pl.ua/news/desyat-torfovyshh-poltavshhyny-goryat-cherez-spalyuvannya-suhoyi-travy> (in Ukrainian).

43. Operational information on major emergencies of man-made, natural and other nature in Poltava region per day. *Main Department of the SES of Ukraine in Poltava Oblast*: website. 24.09.2024. URL: <https://pl.dsns.gov.ua/operational-information/dovidka-za-dobu/operativna-informaciia-pro-osnovni-nadzvicaini-situaciyi-texnogennogo-prirodnogo-ta-insogo-xarakteru-na-teritoriyi-poltavskoyi-oblasti-za-dobu-212> (in Ukrainian).

44. Shaorun Lin, Yau Kuen Cheung, Yang Xiao, Xinyan Huang. Can rain suppress smoldering peat fire? *Science of The Total Environment*. Volume 727, 20 July 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138468> (in English).

45. On measures to prevent and combat mass fires of forests, peatlands and agricultural land in the summer of 2024. *Kotelevske Settlement Council of Poltava Raion, Poltava Oblast*: website.

08.07.2024.

URL:

<https://kotelevska-gromada.gov.ua/news/1712229544/> (in Ukrainian).

46. Kateryna Berezenko, Dmytro Sopov, Svitlana Melnychuk, Nataliya Gurets, Olena Girzheva, Oleksandr Marynets, Oleksandr Ignatenko, Iryna Dzhygyrey, Iryna Cherednychenko and Oleksii Prokopenko. Integrated ecological assessment of a river environment based on water quality criteria and pollution indicators analysis. *Ecology, Environment and Conservation*. Vol. 30 (3).

ВИСНОВКИ

1. Геоінформаційні системи у поєднанні з дистанційним зондуванням та спектральними індексами (NDVI) є критично важливими інструментами для оптимізації землекористування в Україні. ГІС технології забезпечують точний моніторинг стану земель, прогнозування наслідків різних сценаріїв землекористування та розробку ефективних стратегій управління земельними ресурсами в умовах кліматичних змін. Інтеграція даних з різних джерел через ГІС дозволяє подолати обмеження існуючих методик оцінки та сформуванню комплексний підхід до управління агроландшафтами, що сприяє еколого-економічній стабільності та сталому розвитку сільського господарства.

2. Сучасні картографо-геодезичні дослідження та інженерно-графічні технології формують основу для просторового аналізу природного середовища та ефективного землекористування. Завдяки розвитку геодезичних методів, автоматизації, впровадженню GNSS, лазерного сканування та цифрових приладів забезпечується висока точність вимірювань і створення цифрових моделей місцевості. Геоінформаційні системи (ГІС) у поєднанні з технологіями дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та польовими дослідженнями стали ключовим інструментом для багатосарового аналізу, просторового моделювання й моніторингу земель. Використання сучасного програмного забезпечення дозволяє створювати точні та динамічні картографічні продукти, придатні як для наукових, так і для прикладних завдань. Комплексна інтеграція ДЗЗ, ГІС і геодезії забезпечує можливість екологічного моніторингу, просторового планування та оптимізації землекористування. Перспективи розвитку пов'язані з використанням машинного навчання та штучного інтелекту для автоматизації обробки великих масивів просторових даних та підвищення точності прогнозування змін довкілля. Отже, сучасні картографо-геодезичні технології є важливим інструментом забезпечення екологічної безпеки, раціонального використання земельних ресурсів та реалізації концепції сталого розвитку.

3. Моніторинг об'єкту складався з визначення вертикальних і горизонтальних переміщень, вимірювання змін ширини

існуючих тріщин. Висновок про те, що поточний технічний стан об'єкта є наслідком типової експлуатації будівлі з гнучкою конструкцією, а головне, що дефекти і пошкодження не загрожують безпеці його конструкції і використання, був підтверджений проведеним аналізом рівномірності отриманих переміщень, з використанням методу трансформації. Метод показує нерівномірність розподілу результатів переміщень мережі контрольних реперних точок простим лінійно-кутовим способом.

4. Результати дослідження підтвердили, що фототріангуляція БПЛА є перспективною та продуктивною технологією для вирішення завдань земельного кадастру, проте її застосування потребує критичного підходу та усвідомлення потенційних ризиків, пов'язаних із точністю вимірювань, використанням опорних даних і налаштуванням програмного забезпечення. Практичні аспекти свідчать про необхідність обережності користувачів при оцінюванні результатів і врахування можливих похибок, а теоретичні висновки вказують на недостатність існуючих інструментів самокалібрування та актуальність розробки інтелектуальних модулів на основі нейронних мереж для підвищення надійності та точності кадастрових робіт.

5. Історичний розвиток геоінформаційних систем (ГІС) демонструє їх трансформацію від вузькоспеціалізованих інструментів до універсальних платформ, які відіграють ключову роль у сучасному управлінні земельними ресурсами. Для України інтеграція ГІС у державне управління, зокрема в земельний кадастр, екологічний моніторинг та міське планування, є стратегічним пріоритетом. Майбутні дослідження мають зосередитися на розробці відкритих платформ, впровадженні штучного інтелекту для прогнозування наслідків землекористування та адаптації національного законодавства до міжнародних стандартів. Для успішного впровадження ГІС необхідні системні зміни, включаючи підвищення кваліфікації фахівців, створення єдиних стандартів обміну даними та активізацію використання відкритих програмних рішень. Ефективне використання ГІС-технологій забезпечить сталий розвиток аграрного та міського секторів, сприяючи балансу між технологічним прогресом і екологічною відповідальністю.

6. Дистанційне зондування Землі виступає як фундаментальна технологія для комплексного моніторингу та управління торф'яними пожежами, що є особливо актуальним в умовах кліматичних змін та зростання антропогенного впливу. Технологія ДЗЗ забезпечує багатовимірний аналіз через використання різних спектральних композитів (True Color, False Color, SWIR) та спектральних індексів NDVI і NDWI, що дає можливість не лише виявляти активні осередки горіння на ранніх стадіях, але й оцінювати стан рослинності, вологість ґрунту, динаміку поширення пожеж та їх вплив на екосистеми. Особлива цінність ДЗЗ полягає в можливості систематичного моніторингу труднодоступних територій незалежно від погодних умов, що критично важливо для торфовищ, розташованих у заплавах річок та низинних ділянках. Інтеграція супутникових даних з географічними та кліматичними характеристиками регіону дозволяє створювати ефективні системи раннього попередження, картувати пожежонебезпечні зони, обраховувати площі пошкодженої рослинності та відстежувати процеси відновлення екосистем після пожеж. Це забезпечує можливість прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо профілактики торфових пожеж, мінімізації їх катастрофічних наслідків для здоров'я населення, біорізноманіття та місцевої економіки, а також оптимізації заходів з відновлення природного водного режиму та реабілітації постраждалих територій.

7. З огляду на швидкий розвиток технологій дистанційного зондування та ГІС, можна прогнозувати, що у майбутньому основні напрямки їх розвитку включатимуть впровадження штучного інтелекту для автоматичного аналізу супутникових даних, розширення можливостей багатоспектрального та гіперспектрального аналізу, підвищення просторової та часової роздільної здатності знімків, та інтеграцію ГІС-даних у глобальні системи прогнозування кліматичних змін. Впровадження алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту революціонізує процеси обробки та інтерпретації супутникових даних, забезпечуючи автоматичне виявлення та класифікацію природних явищ, включаючи пожежі, повені, деградацію ґрунтів та зміни рослинного покриву з мінімальним втручанням людини. Розширення спектрального діапазону сенсорів до гіперспектральних характеристик дозволить отримувати детальну

інформацію про хімічний склад об'єктів на земній поверхні, що критично важливо для моніторингу якості ґрунтів, води та атмосфери. Підвищення просторової роздільної здатності до субметрового рівня та збільшення частоти знімання забезпечить майже реальчасовий моніторинг динамічних процесів, що особливо актуально для швидкого реагування на надзвичайні ситуації та оперативного управління природними ресурсами. Інтеграція ГС-технологій у глобальні кліматичні моделі створить потужну платформу для довгострокового прогнозування змін навколишнього середовища, розробки адаптаційних стратегій та забезпечення сталого розвитку в умовах глобальних кліматичних викликів, що зробить ці технології незамінним інструментом для вирішення екологічних та соціально-економічних проблем людства.

Наукове видання

САДОВИЙ Іван Іванович
ХАЙНУС Дмитро Дмитрович
ВИНОГРАДЕНКО Сергій Олександрович
МОГИЛЬНИЙ Сергій Георгійович
СМИРНОВА Світлана Михайлівна
СОПОВ Дмитро Сергійович
СОПОВА Надія Валеріївна
СЄДОВ Аркадій Олександрович

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО,
КАРТОГРАФІЧНОГО ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕМЛЕУСТРОЮ, КАДАСТРУ
ТА МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ**

Колективна монографія

Підписано до друку 07.10.2025. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 15,93.
Наклад 50 прим. Зам. №7/09/25.

Видавець і виготовлювач: ФОП Панов А. М.
Свідоцтво серії ДК №4847 від 06.02.2015 р.
м. Харків, вул. Жон Мироносиць, 10, оф. 6,
тел.: +38 (057) 714-06-74, +38 (050) 976-32-87,
copy@vlavke.com