

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-60-49>

УДК: 004.9:528.88:614.84

Пугач Сергій Олександрович¹, д. г. н., професор<https://orcid.org/0000-0002-3738-7961>**Кайдик Олег Леонтійович²**, к. т. н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-3620-270X>**Терлецький Тарас Володимирович²**, к. т. н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-4114-0734>**Угрин Дмитро Ілліч³**, д. т. н., професор<https://orcid.org/0000-0003-4858-4511>**Вісин Олена Олександрівна²**, к. і. н., доцент<https://orcid.org/0000-0003-2361-6708>¹ Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна² Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна³ Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна

ГІС-ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ (НА ПРИКЛАДІ ПОЖЕЖ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ)

Пугач С. О., Кайдик О. Л., Терлецький Т. В., Угрин Д. І., Вісин О. О. ГІС-інструменти для аналізу та моделювання надзвичайних ситуацій (на прикладі пожеж у Волинській області). Аналіз матеріалів дистанційного зондування Землі за допомогою геоінформаційних систем та технологій має важливе значення для дослідження та попередження несприятливих стихійних явищ, таких як пожежі. У своїй статті ми навели приклади дослідження пожеж за допомогою ГІС. Найпростішим методом є аналіз пожеж за допомогою веб-сервісу FIRMS. Цей метод не вимагає якихось попередніх навичок та умінь, дозволяє фіксувати наявність факту пожежі та у загальних рисах оцінити їх масштаби. Сервіс Copernicus Browser дозволяє працювати із багатоспектральними супутниковими знімками місії Copernicus для виявлення та аналізу пожеж. Найбільш перспективним є дослідження каналів, отриманих переважно в ближньому інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах. Найбільші можливості для аналізу та візуалізації відкриваються під час аналізу космознімків у ГІС. Так, обчислення нормалізованого коефіцієнту вигорання дозволяє оцінити довгострокові наслідки пожеж. Супутникові дані та карти інтенсивності горіння мають велике практичне значення. Вони можуть допомогти в розробці планів екстреної реабілітації та відновлення рослинності після пожежі. Також ці матеріали можуть бути використані для оцінки ймовірності майбутніх наслідків для вигорілих територій внаслідок повеней, зсувів та ерозії ґрунту.

Ключові слова: ГІС (геоінформаційна система), ДЗЗ (дистанційне зондування Землі), пожежі, QGIS, нормалізований коефіцієнт вигорання, Волинська область.

Pugach S., Kaidyk O., Terletsy T., Uhryn D., Visyn O. GIS tools for analysis and modeling of emergency situations (on the example of fires in Volyn region). The analysis of remote sensing materials using geographic information systems and technologies is important for research and preventing adverse natural phenomena, such as fires. In our article, we gave examples of fire research using GIS. The simplest method is fire analysis using the FIRMS web service. This method does not require any prior skills and abilities, allows you to record the existence of a fire and generally estimate its scale. The Copernicus Browser service allows you to work with multispectral satellite images from Copernicus missions for fire detection and analysis. The most promising is the study of bands obtained mainly in the near infrared and shortwave infrared bands. The greatest opportunities for analysis and visualization are opened during the analysis of satellite images in GIS. Thus, the calculation of the normalized burn ratio allows estimating the long-term consequences of fires. Satellite data and maps of fire intensity are of great practical importance. They can help develop emergency rehabilitation and revegetation restoration plans after a fire. They can also be used to assess the likelihood of future impacts on burned areas from floods, landslides, and soil erosion.

Keywords: GIS (geographic information system), remote sensing, fires, QGIS, normalized burn ratio, Volyn region.

Постановка проблеми. Пожежі є одним із найбільш небезпечніших стихійних лих сьогодення. Вони зумовлені як природними, так і антропогенними чинниками. Проте у будь-якому разі це призводить до великих економічних, екологічних та соціально-культурних втрат. У контексті сучасних змін клімату та підвищення загальної температури повітря можна спостерігати зростання інтенсивності лісових і степових пожеж. Традиційні методи моніторингу несприятливих явищ та процесів часто виявляються неефективними через масштаби досліджуваних територій, тривалий часовий лаг між часом початку пожежі та часом її виявлення, обмеженим доступом до певних територій. У цьому контексті дистанційні методи зондування Землі (ДЗЗ), зокрема аналіз супутникових знімків, надають нові можливості для своєчасного виявлення, оцінки негативного впливу та прогнозування пожеж. Супутникові дані дозволяють охопити великі території, оперативно (часто в режимі реального часу) виявляти термічні аномалії, оцінювати площі уражень та відстежувати динаміку поширення пожеж по території. Широке використання геоінформаційних

систем та технологій (ГІС) розкриває нові можливості для обробки, аналізу та візуалізації просторових даних про пожежі. Це дозволяє інтегрувати різноманітну інформацію, що у свою чергу надає широкі можливості для підтримки управлінських рішень. Усе вище зазначене визначає актуальність вивчення пожеж за допомогою ГІС та ДЗЗ, враховуючи недостатню кількість таких вишукувань в Україні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У науковій літературі зустрічаються публікації, які присвячено цій проблематиці. Так, F. Sivrikaya та інші на основі аналізу середземноморських лісових масивів Туреччини, описують можливості використання ГІС для аналізу та оцінки ризику виникнення лісових пожеж зі врахуванням вливу певних чинників (видовий склад дерев, частка лісовкритих площ, вік насаджень, крутизна схилу, експозиція, віддаль від поселень, віддаль від доріг). Крім того, дослідники здійснили аналіз видимості пожежних веж для моніторингу лісів у досліджуваній області [20].

R. Jaiswal та інші за допомогою програми ArcGIS на основі даних супутникових знімків території штату Мадр'я-Прадеш (Індія) розробили ГІС-модель ризику поширення лісових пожеж для досліджуваної території, яка виявилася добре узгодженою із фактичними ураженими пожежами ділянками [16].

E. Chuviesco та J. Salas запропонували картографувати пожежі на території Центральної Іспанії за допомогою ГІС та співставити карту пожеж з іншими (топографічною, метеокартами, картами рослинності, антропогенного навантаження тощо). Це дозволило покращити знання про просторові особливості поширення пожеж, що має вирішальне значення для розробки регіональних планів пожежного захисту [7].

A. Supriadi та T. Oswari запропонували, на основі геоінформаційних технологій, зробити веб-додаток для пожежної служби агломерації Depok City (Індонезія), який має на меті пришвидшити обробку повідомлень про пожежі для прийняття рішень, представити просторові та непросторові дані, оновлювати дані про пожежі, полегшити пошук нових місць розташування пожежних станцій, гідрантів, пожежонебезпечних пунктів, а також виявлення місць, схильних до займання [21].

H. Adab та інші досліджували пожежі на північному сході Ірану за допомогою даних про екстремальні температури, отримані з супутника MODIS. У результаті чого було обчислено ряд індексів (структурний індекс пожеж, індекс ризику пожеж, гібридний індекс пожеж) для моніторингу та мінімізації частоти виникнення пожеж та спричинених пожежами збитків [5].

Певний інтерес до дослідження пожеж із застосуванням ГІС та ДЗЗ спостерігається й в Україні. Аналіз можливостей використання космознімків для моніторингу лісових пожеж засобами, а також оцінка переваг та можливостей використання цих даних для виявлення лісових пожеж та оцінки впливу їх на екосистему досліджували В. Зацерковний та інші [4]. Дослідженням пожеж у Чорнобильській зоні відчуження у 2020 р. за допомогою даних супутника Sentinel-2 займалися вчені НУ «Львівська політехніка» [1]. Вони використовували Нормалізований індекс горіння (Normalized Burn Ratio (NBR)), який дозволяє виявляти території (території), пошкоджені пожежами та оперативно оцінювати наслідки пожеж. Прогнозуванню поширення пожеж та осередків шкідливих комах у соснових лісах засобами геоінформаційних систем та технологій присвячена монографія О. Борисенка та В. Мешкової [3]. Ними було запропоновано у складі державної інформаційної системи «Ліси України» інформаційну підсистему охорони лісів від пожеж і моніторингу шкідників лісу. Розробці методів ідентифікації пожеж з використанням космічних знімків низької роздільної здатності за допомогою алгоритму виявлення «пожежних» пікселів для знімків TERRA MODIS та NOAA AVHRR присвячена робота О. Бандурка та О. Свинчук [2]. Проте, на сьогоднішній день, проблема дослідження пожеж ГІС-засобами далека від вирішення і потребує подальших досліджень.

Метою роботи є аналіз можливостей використання даних ДЗЗ, різних веб-служб для моніторингу пожеж із застосуванням ГІС на прикладі Волинської області. Основним завданням дослідження є визначення переваг та недоліків використання космознімків для виявлення лісових пожеж та оцінки їх впливу навколишнє природне середовище.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо декілька підходів до аналізу пожеж за допомогою геоінформаційних технологій.

Найпростішим, і таким, що не потребує додаткових навичок та спеціалізованого програмного забезпечення, є аналіз пожеж за допомогою сервісу FIRMS [13].

FIRMS (Fire Information for Resource Management System) – це безкоштовна картографічна веб-платформа, що надається NASA в рамках програми Earth Science Data Systems (ESDS). Цей сервіс відображає на карті місця пожеж майже в режимі реального часу. Хоча основна функція FIRMS – моніторинг лісових пожеж, його також використовують для аналізу військових конфліктів, такими як вторгнення Росії в Україну [14].

Дані для FIRMS збираються за допомогою датчиків MODIS (супутники Terra та Aqua) та VIIRS (супутники Suomi NPP, NOAA-20 та NOAA-21). Просторова роздільна здатність MODIS становить 1×1 км та 375×375 м для VIIRS. Це встановлює нижню межу точності локалізації пожеж [13]. Система FIRMS була розроблена Університетом Меріленду у 2007 р. за фінансової підтримки NASA. У 2010-2012 роках сервіс використовувався ФАО (Продовольча та сільськогосподарська організація) ООН [12].

Сайт має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє тип супутника (MODIS, VIIRS, Sentinel-2) вибирати територію, часовий період (від років до годин), оформлення карти (базову карту, градусну сітку, надписи населених пунктів, кордони тощо), завантажувати картосхему/космоснімок (в тому числі) у форматі GeoTIFF (рис. 1). Окрім того FIRMS володіє окремою функцією для аналізу пожеж у природоохоронних зонах та аналізу вигорілих територій. Зазначимо, що усі необхідні просторові дані про ареали займання можна завантажити у форматі *.shp [19].

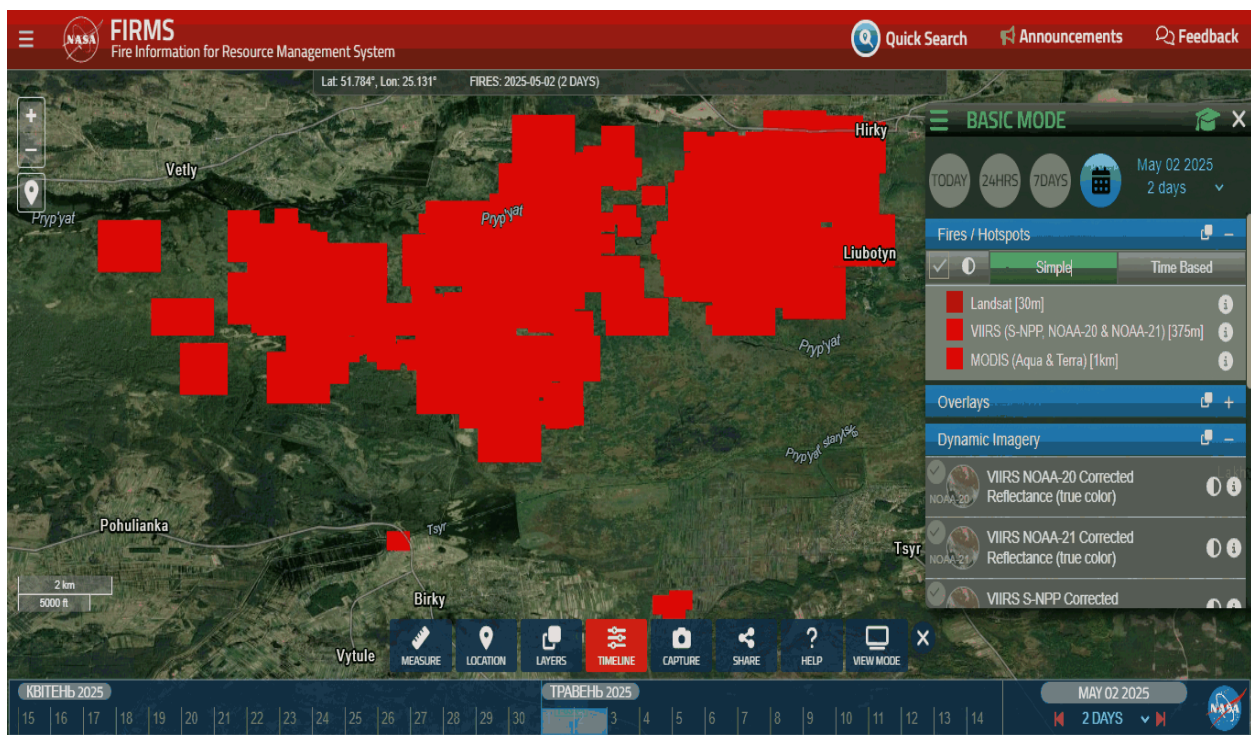


Рис. 1. Пожежі в околицях с. Бірки, Камінь-Каширського району, Волинської області, 1-2 травня 2025 р. (за даними сервісу FIRMS) [13]

Найпростішим прикладом використання сервісу FIRMS є пошук пожеж на певну дату з подальшою первинною оцінкою масштабів поширення (рис. 1). Не менш цікавою є можливість аналізу більш тривалого періоду (до 31 дб). Для більших часових періодів необхідно використовувати опцію для завантаження даних із подальшою їх візуалізацією в якійсь ГІС (наприклад QGIS). Проте FIRMS дозволяє аналізувати та порівнювати часові періоди тривалістю до 31 дб у різні періоди часу. Як приклад можна навести аналіз пожежної небезпеки у травні 2024 р. та травні 2025 р. (рис. 2). Як бачимо, за вказані періоди загальна чисельність пожеж суттєво не відрізняється між собою. Проте ми можемо зазначити більшу поширеність пожеж на півночі області, в тому числі велика пожежа поблизу с. Бірки, Камінь-Каширського району (рис. 1).

Сервіс FIRMS можна інтегрувати в найбільш популярні ГІС, такі як ArcGIS, QGIS, Google Earth Pro [22]. Особливо корисною та перспективною є інтеграція з відкритою геоінформаційною системою QGIS, що відкриває широкі можливості для українських науковців.

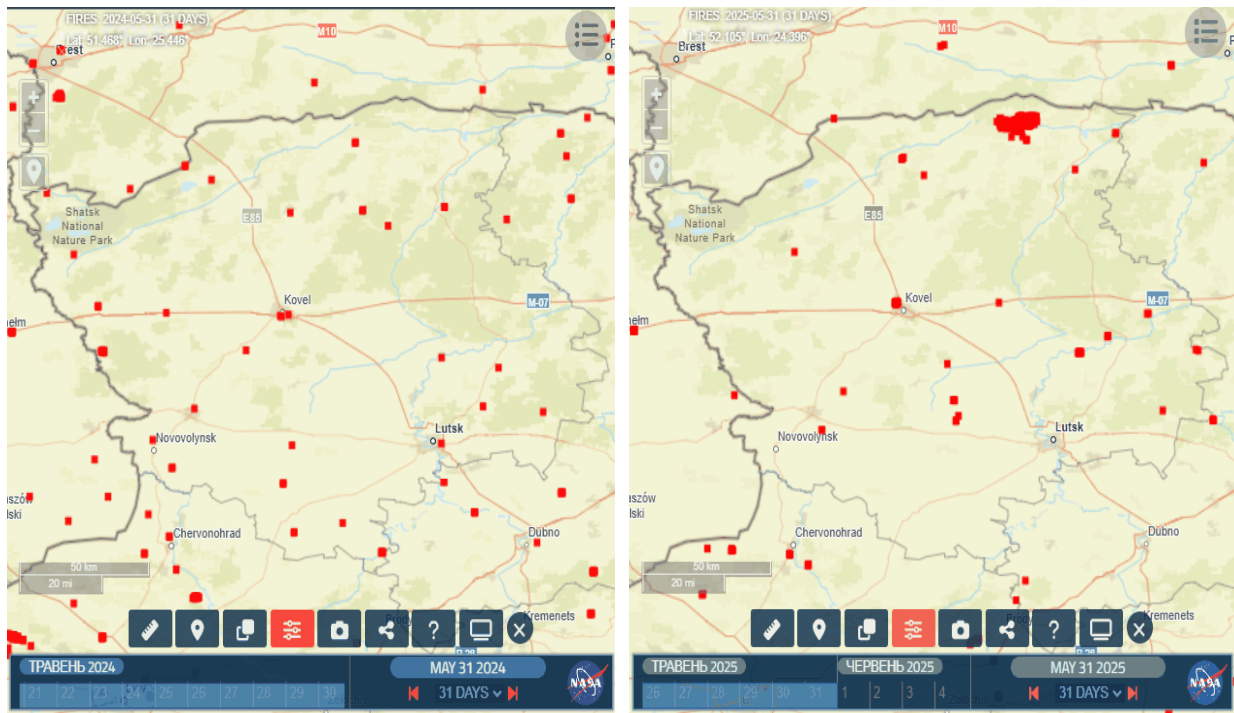


Рис. 2. Температурні аномалії на території Волинської області впродовж 1-31 травня 2024 р. та 1-31 травня 2025 р. (за даними сервісу FIRMS) [13]

Більш ґрунтовним підходом, тобто таким, що передбачає роботу із першоджерелами (базовими космознімками), є аналіз багатоспектральних знімків з метою виявлення та аналізу пожеж. Це можна робити в он-лайн сервісах для роботи із космознімками, таких як: Copernicus Browser (безкоштовний ресурс) [9], EO Browser (комерційний) [10], Google Earth Engine (умовно безкоштовний) [15], або ж «викачати» знімок, та після чого аналізувати його у ГІС (наприклад QGIS).

Візьмемо для прикладу безкоштовний сервіс Copernicus Browser – онлайн-додаток, який забезпечує легкий та безкоштовний доступ до супутникових знімків із місій Copernicus та об'єднаних наборів даних. Через простоту використання та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, додаток дозволяє будь-кому досліджувати планету за допомогою супутникових даних високої роздільної здатності. Платформа надає готові до використання супутникові знімки, попередньо налаштовані візуалізації та тематичні добірки даних. Copernicus Browser дає дозволяє візуалізувати космознімки у різних режимах, таких як: справжні кольори (True color – канали B4, B3, B2), False color (канали B8, B4, B3), False color (urban) (канали B12, B11, B4), Highlight Optimized Natural Color (покращена візуалізація природного кольору), а також різних спектральних індексів: NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс – комбінація каналів $(B8 - B4)/(B8 + B4)$), Moisture index (індекс зволоження – комбінація каналів $(B8A - B11)/(B8A + B11)$), SWIR (композит короткохвильового інфрачервоного діапазону – канали B12, B8A, B4), NDWI (нормалізований диференційний індекс води – комбінація каналів $(B3 - B8)/(B3 + B8)$), NDSI (нормалізований диференційний індекс снігу – комбінація каналів $(B3 - B11)/(B3 + B11)$), Scene classification map (класифікація даних Sentinel-2 за допомогою алгоритму ESA (European Space Agency) з класифікації сцен). Канал – це певний діапазон електромагнітного спектра, а сенсор супутника може формувати зображення поверхні Землі в різних каналах. Окрім цього, користувачі можуть задавати свою власну комбінацію каналів чи скрипти, створювати покадрову анімацію (для аналізу динаміки рослинності, землекористування, зростання міст), робити найпростіші вимірювання та обчислення, зберігати отримані результати у різноманітних форматах [9].

Для аналізу пожеж у Copernicus Browser, як приклад, можна навести знімки супутника Sentinel-2 й комбінацію каналів відображення B12, B8A, B4, або B12, B8, B2 [9]. Це канали, отримані переважно в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні. Візьмемо знімок пожежі в околицях с. Бірки, Камінь-Каширського району, Волинської області 2 травня 2025 р. (рис. 3). Короткохвильові інфрачервоні канали (наприклад B12, B8, B2) дозволяють чітко виокремити на знімку ареали горіння та вигорілі площі. Червоним та помаранчевим кольорами позначені осередки горіння,

темно-сірим та чорним – вигорілі площі. Проте, слід пам'ятати, що чорним кольором у короткохвильовому інфрачервоному діапазоні також відображаються водні поверхні (озеро Рогізне на північ від с. Ветли). Висока задимленість та хмарність дещо утруднює роботу із космознімком (рис. 3).

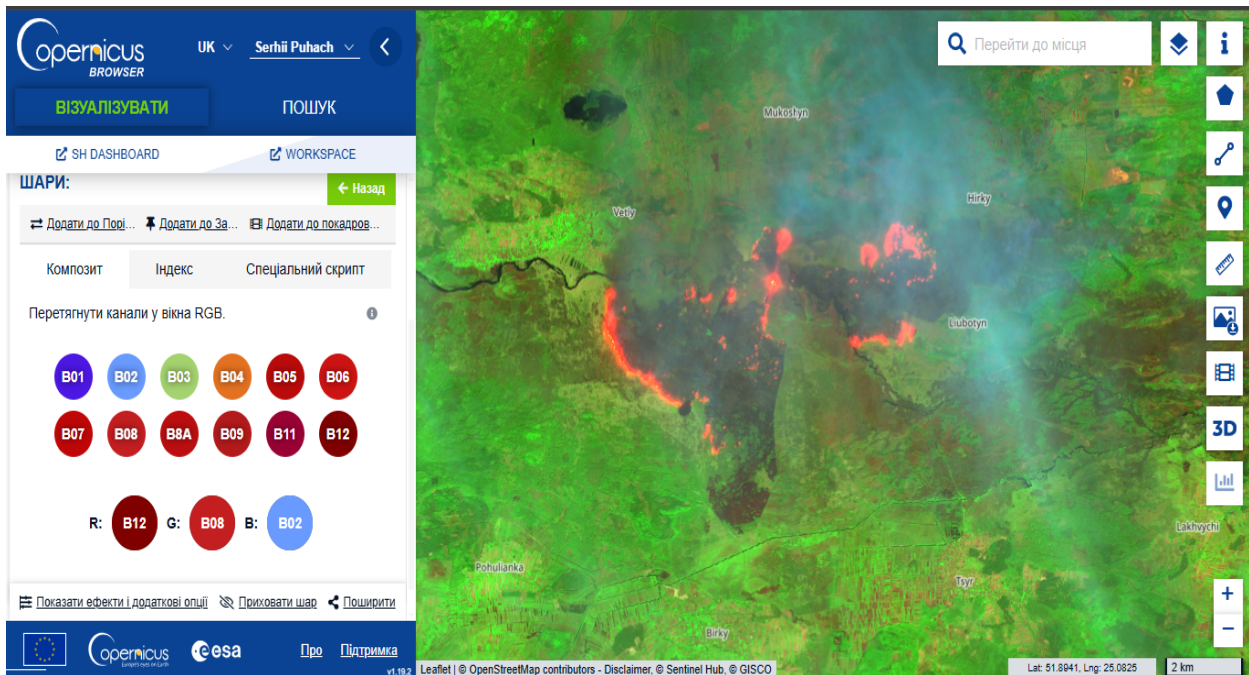


Рис. 3. Візуалізація у Copernicus Browser пожежі в околицях с. Бірки, Камінь-Каширського району, Волинської області, 2 травня 2025 р. (Sentinel-2 L2A, B12, B8, B2) [9]

Також для аналізу пожеж можна використовувати «Fire Boundary Script» [11]. Скрипт призначений для більш контрастної та детальної візуалізації меж уражених ділянок лісової пожежі. Розробники цього скрипта використовують канали B11 та B12 супутника Sentinel-2. Особливістю скрипта «Fire Boundary Script» є виділення білим кольором активних пожеж, сірим – вигорілих територій. Решта території «затемнюється». У нашому випадку (пожежа поблизу с. Бірки 2.05.2025 р.) це дозволяє отримати досить гарні результати (рис. 4).

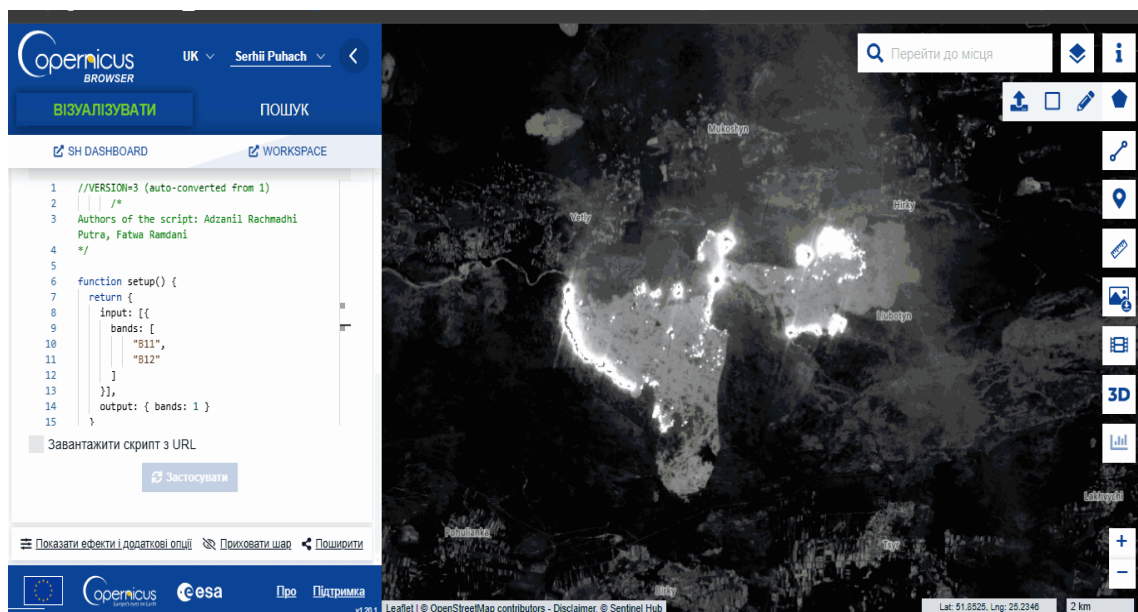


Рис. 4. Візуалізація у Copernicus Browser пожежі в околицях с. Бірки, Камінь-Каширського району, Волинської області, 2 травня 2025 р. (Sentinel-2 L2A, Fire Boundary Script) [9]

Одним із найпростіших способів аналізу пожеж у Copernicus Browser – є обчислення площі пожежі чи вигорілих територій. Для цього використовується інструмент «Створити область інтересу». З рис. 5 видно, що пожежа поблизу с. Бірки станом на 1.05.2025 р. уже охопила площу 20,94 км².

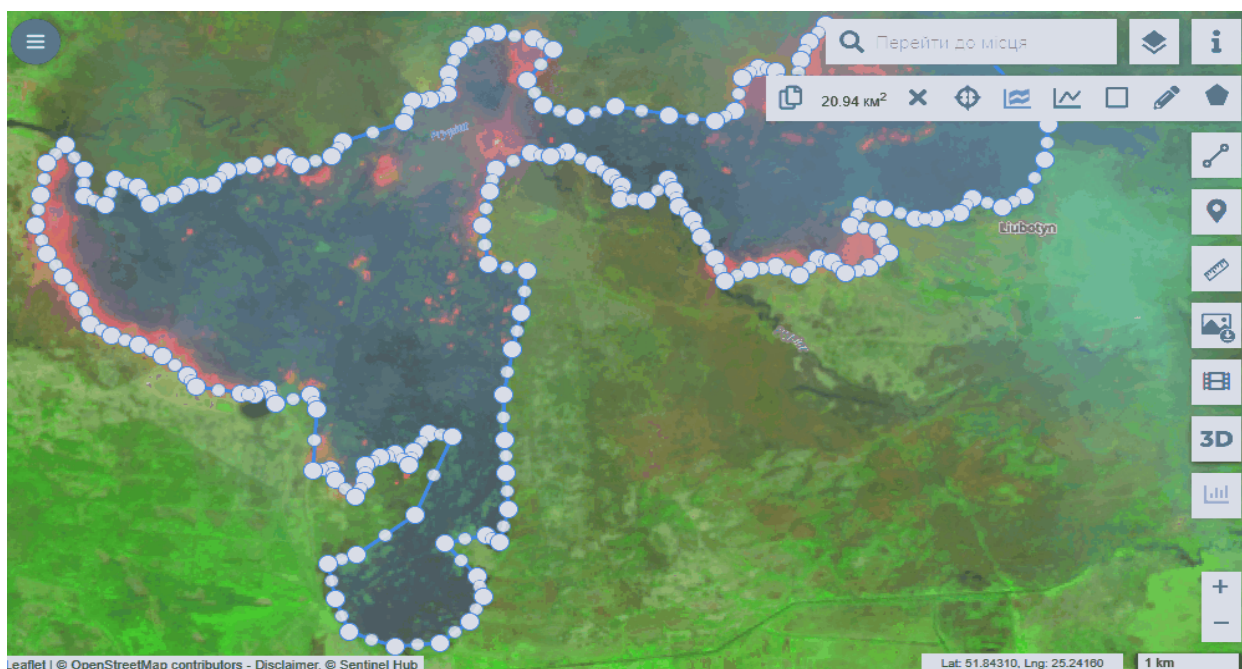


Рис. 5. Вимірювання площі пожежі та вигорілих територій у Copernicus Browser

Найбільш «просунутим» методом, тобто таким, що надає найбільше можливостей для аналізу – є робота із космознімками у ГІС. Розглянемо можливості аналізу пожеж та їх наслідків у геоінформаційній системі QGIS.

Дослідимо уже згадану вище пожежу біля с. Бірки. Для цього попередньо завантажуються необхідні космознімки, наприклад із супутника Sentinel-2 із Copernicus Browser. Для цієї задачі акцентуємо увагу на знімках до та після пожежі. Через ряд причини (періодичність зйомки, час доби, погодні умови (у першу чергу хмарність), «комерціалізація» частини знімків тощо) це може виявитися досить не простим завданням. Власне пожежі тривали 4 доби (з 30 квітня по 3 травня 2025 р.) [13]. Із знімком до пожежі проблем не виникло – є доступний знімок гарної якості за 27.04.2025 р. Проте через погодні умови (у першу чергу високу хмарність) перший якісний знімок доступний у Copernicus Browser тільки через місяць після пожежі – 4.06.2025 р. Це досить тривалий період часу, протягом якого трав'яниста рослинність (наша територія інтересу – це заболочена заплава р. Прип'ять) може повністю відновитися. Тому, для подальших досліджень нами було прийнято рішення працювати зі знімком від 7.05.2025 р. із частковою хмарністю (рис. 6).

Для аналізу наслідків пожеж та їх інтенсивності використовують нормалізований коефіцієнт вигорання (Normalized Burn Ratio, NBR), який обчислюється за формулою:

$$NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR), \quad (1)$$

де: NBR – нормалізований коефіцієнт вигорання; NIR – відбите випромінювання ближнього інфрачервоного діапазону (у Sentinel-2 це канал B08); SWIR – відбите випромінювання короткохвильового інфрачервоного діапазону (у Sentinel-2 це канал B12) [18].

Для оцінки ступеня вигорання частіше використовують різницю нормалізованого коефіцієнту вигорання (NBR) до та після пожежі, який позначається дельта NBR (dNBR):

$$dNBR = \text{prefireNBR} - \text{postfireNBR}, \quad (2)$$

де: dNBR – різниця нормалізованого коефіцієнту вигорання; prefireNBR – NBR до пожежі; postfireNBR – NBR після пожежі.

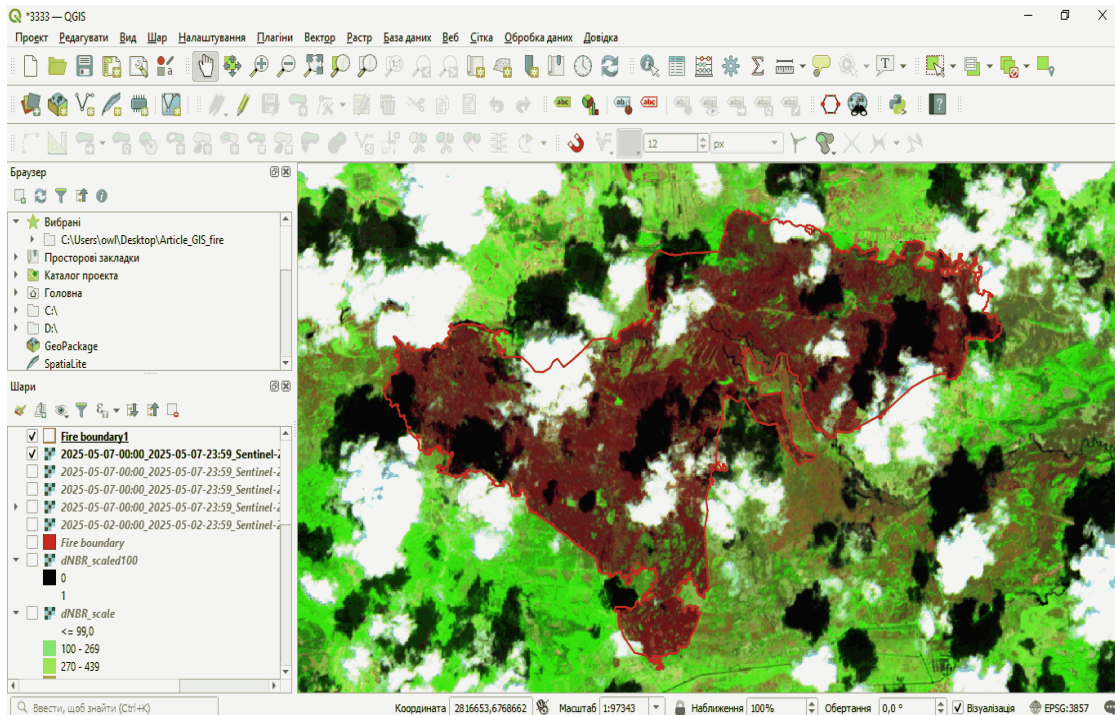


Рис. 6. Знімок пожежі біля с. Бірки від 7.05.2025 р. (Sentinel-2 L2A, канали B12, B8A, B4) у програмі QGIS 3.16.16

Вищі значення dNBR вказують на більш серйозні пошкодження, тоді як ділянки з негативними значеннями dNBR можуть свідчити про повторне відновлення рослинності після пожежі [18].

Отже, відкриваємо у QGIS растрові зображення каналів B08 та B12 супутника Sentinel-2 за 27.04.2025 р. та 7.05.2025 р. У «Калькуляторі растрів» (рис. 7) обчислюємо значення dNBR за виразами (1) та (2).

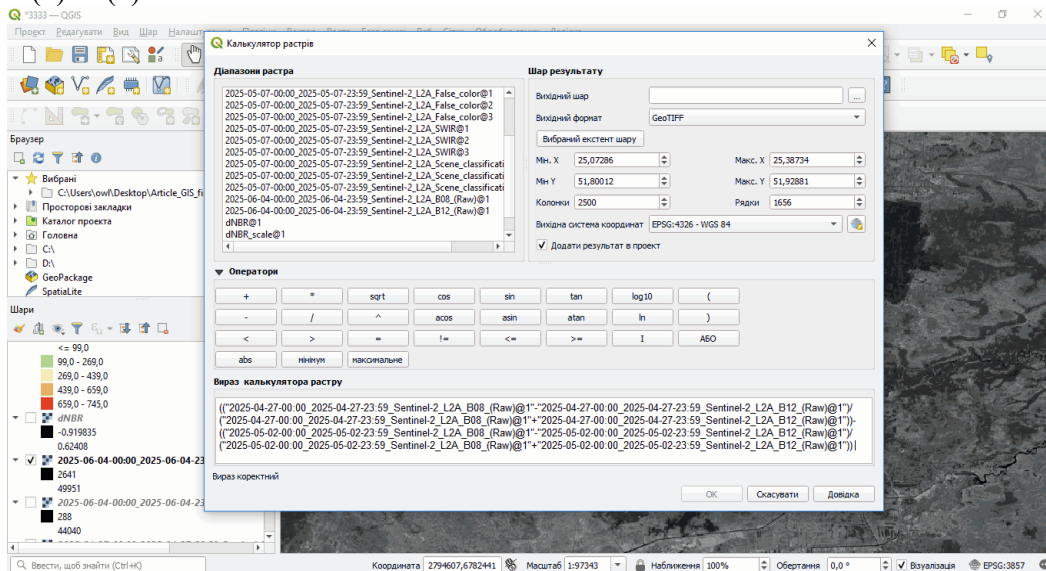


Рис. 7. Обчислення dNBR у програмі QGIS 3.16.16

У нашому випадку значення dNBR матиме наступний вигляд:

$$((("2025-04-27-00:00_2025-04-27-23:59_Sentinel-2_L2A_B08_ (Raw)@1"-("2025-04-27-00:00_2025-04-27-23:59_Sentinel-2_L2A_B12_ (Raw)@1"))/("2025-04-27-00:00_2025-04-27-23:59_Sentinel-2_L2A_B08_ (Raw)@1"+"2025-04-27-00:00_2025-04-27-23:59_Sentinel-2_L2A_B12_ (Raw)@1"))-(("2025-05-02-00:00_2025-05-02-23:59_Sentinel-2_L2A_B08_ (Raw)@1"-("2025-05-02-00:00_2025-05-02-23:59_Sentinel-2_L2A_B12_ (Raw)@1"))/("2025-05-02-00:00_2025-05-02-23:59_Sentinel-2_L2A_B08_ (Raw)@1"+"2025-05-02-00:00_2025-05-02-23:59_Sentinel-2_L2A_B12_ (Raw)@1"))$$

Наступним етапом є візуалізація отриманих результатів. Скористаємося запропонованою Геологічною службою США (United States Geological Survey, USGS) шкалою для інтерпретації ступеня інтенсивності вигорання (табл. 1) із подальшою розбивкою на класи. За нижню межу (порог) пошкодженої пожежею рослинності було взято $dNBR=100$. Відповідно, на основі порогу $dNBR=100$ було окреслено межі пожежі (рис. 8). Для уточнення межі (закриті хмарами ділянки) було використано космознімок Sentinel-2 L2A за 7.05.2025 р. у комбінаціях спектральних каналів True color, False color, SWIR, а також скрипт «Fire Boundary Script».

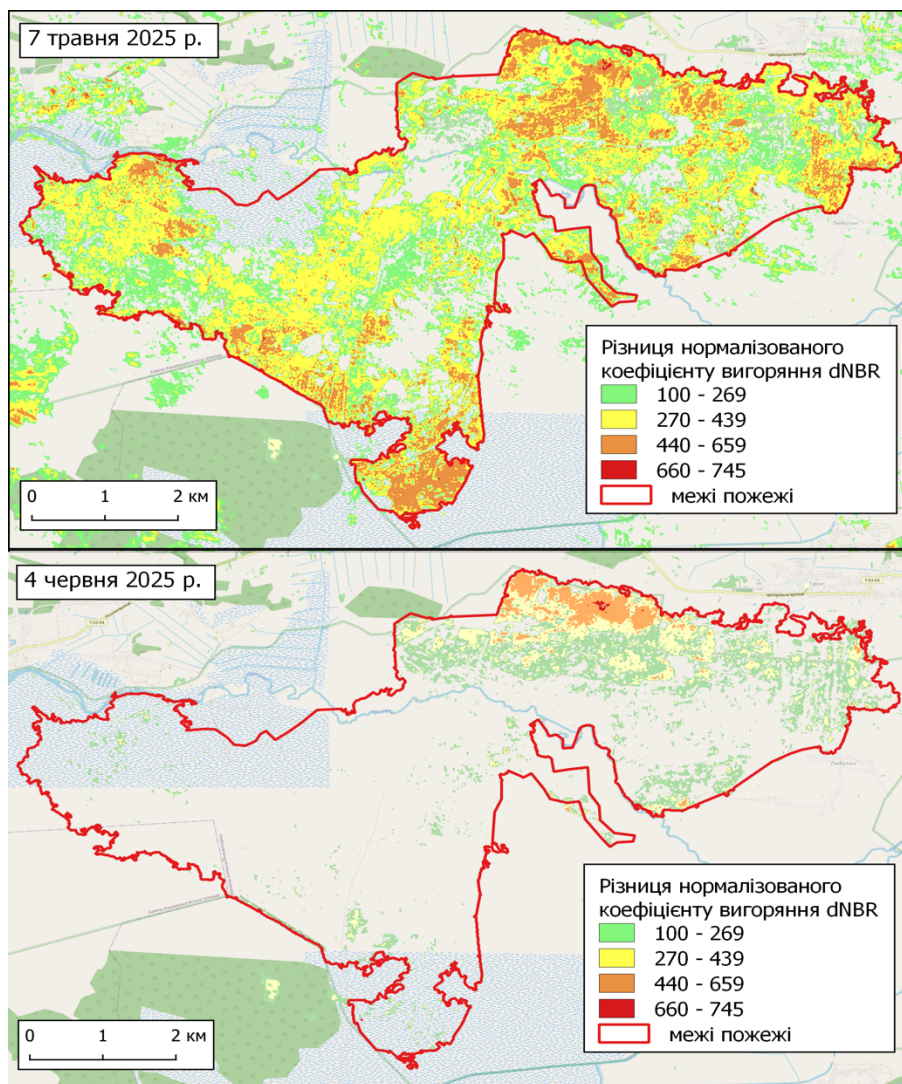


Рис. 8. Наслідки пожежі поблизу с. Бірки, Камінь-Каширського району, Волинської області, 30.04.2025-2.05.2025 р. ($dNBR$ обчислено авторами на основі космознімків Sentinel-2 L2A)

Таблиця 1. Рівні інтенсивності вигорання рослинності ($dNBR * 1000$) [17]

Інтенсивність вигорання	Діапазон dNBR
Розширене відновлення, високе (після пожежі)	від -500 до -251
Розширене відновлення, низьке (після пожежі)	від -250 до -101
Неспалений	від -100 до +99
Низька тяжкість	від +100 до +269
Помірна-низька тяжкість	від +270 до +439
Помірна-висока тяжкість	від +440 до +659
Висока тяжкість	від +660 до +1300

Візуальний аналіз отриманих результатів показує наявність 7.05.2025 р. «неушкоджених» ділянок посеред пожежі (рис. 8). Це закриті хмарами ділянки, для яких $dNBR$ визначений некоректно. Проте, це не заважає зробити загальні висновки про пожежу. Найбільша інтенсивність

пожежі спостерігалася на півночі ареалу горіння (біля с. Гірки), півдні (поблизу с. Бірки) та заході (біля с. Ветли). Часто межею поширення пожежі є водні об'єкти – р. Прип'ять, меліоративні канали. Оскільки, територія нашого дослідження – це заплавні луки та пасовища – то пожежа не завдала значної шкоди рослинності. Так, через місяць на знімку від 4.06.2025 р. наслідки пожежі ($dNBR > 100$) спостерігаються лише на півночі ареалу горіння. Це також ознака того, що тут пожежа мала найбільшу інтенсивність (рис. 8).

Слід зазначити, що значення $dNBR$ можуть варіюватися в залежності від конкретних випадків (видовий склад рослинності, географічні умови тощо). Тому для отримання кращих результатів, за можливості, інтерпретація конкретних випадків також повинна проводитися з врахуванням польових досліджень. Діапазони значень $dNBR$ не є жорстко визначеними. Можливі варіації порогів значень табл. 1 на 100 пунктів. Також можуть траплятися значення $dNBR$ менше -550 або більше +1350 на ділянках не вражених пожежею. Ці аномалії спричиняються помилками розпізнавання, хмарами або іншими чинниками. Населені пункти часто спотворюють загальну картину, тому їх необхідно виключати із аналізу [18].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, матеріали дистанційного зондування Землі опрацьовані та проаналізовані за допомогою геоінформаційних систем та технологій мають важливе значення та великий потенціал для аналізу та попередження несприятливих стихійних явищ, таких як пожежі. У своїй статі ми навели приклади дослідження пожеж за допомогою ГІС різного рівня складності. Найпростішим є аналіз пожеж за допомогою FIRMS. Цей метод не вимагає якихось попередніх навичок та умінь, проте дозволяє фіксувати наявність факту пожежі та у загальних рисах оцінити їх масштаби.

Он-лайн сервіс для роботи із космознімками Copernicus Browser дозволяє працювати із багатоспектральними супутниковими знімками місії Copernicus з метою виявлення та аналізу пожеж. Найбільш перспективним є дослідження каналів, отриманих переважно в ближньому інфрачервоному та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах.

Найбільші можливості для аналізу та візуалізації (представлення результатів) відкриваються під час аналізу космознімків у ГІС. Так, обчислення нормалізованого коефіцієнту вигорання дозволяє оцінити довгострокові наслідки пожеж.

Супутникові дані та карти інтенсивності горіння мають велике практичне значення. Вони можуть допомогти в розробці планів екстреної реабілітації та відновлення рослинності після пожежі. Також ці матеріали можуть бути використані для оцінки не тільки інтенсивності горіння (вигорання) поверхні, але й ймовірності майбутніх наслідків для вигорілих територій внаслідок повеней, зсувів та ерозії ґрунту.

Список бібліографічного опису

1. Бабушка А., Бабій Л., Четверіков Б., Севрук А. Дослідження лісових пожеж за даними дистанційного зондування Землі (на прикладі Чорнобильської зони відчуження). Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2021. Вип. 94. С. 35-43 <https://doi.org/10.23939/istcgecap2021.94.035>
2. Бандурка О. І., Свинчук О. В. Метод ідентифікації космічних знімків для прогнозування лісових пожеж. Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. Т. 1, № 67. С. 13–18. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2022.1.013>
3. Борисенко О. І., Мешкова В. Л. Прогнозування поширення пожеж та осередків шкідливих комах у соснових лісах засобами ГІС. Монографія. Харків : Планета-Прінт, 2021. 148 с.
4. Зацерковний В., Савков П., Пампуха І., Васецька К. Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. 2020. № 2(44). С. 54–58. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.54-58>
5. Adab H., Kanniah K. D., Solaimani K. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. Natural hazards. 2013. No 65(3). P. 1723-1743. DOI 10.1007/s11069-012-0450-8
6. Biletska M., Babiichuk S., Tomchenko O., Davybidia L., Kurach T., Shcheglov O. Assessing Tree Cover Based on Remote Sensing Data (Case Study Territory of Drevlians Nature Reserve in Zhytomyr Oblast). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15577839>
7. Chuvieco E., Salas J. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. International Journal of Geographical Information Systems. 1996. Vol. 10(3). P. 333–345. <https://doi.org/10.1080/02693799608902082>
8. Copernicus Browser guide. European Space Agency. URL: https://www.esa.int/Education/Copernicus_Browser_guide
9. Copernicus Browser. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
10. EO Browser. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>
11. Fire Boundary Script. Sentinelhub. URL: https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/fire_boundary/
12. Fire Information for Resource Management System. Wikipedia, the Free Encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Fire_Information_for_Resource_Management_System
13. FIRMS: Global Fire Map. FIRMS. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map>

14. Gonzales C. Scorched Earth: Using NASA Fire Data to Monitor War Zones. Bellingcat. URL: <https://www.bellingcat.com/resources/2022/10/04/scorched-earth-using-nasa-fire-data-to-monitor-war-zones/>
15. Google Earth Engine. URL: <https://earthengine.google.com/>
16. Jaiswal R. K., Mukherjee S., Raju K. D., Saxena R. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 2002. Vol. 4(1). P. 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)
17. Key C. H., Benson N. C. Landscape Assessment (LA). Sampling and Analysis Methods. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. URL: https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_series/rmrs/gtr/rmrs_gtr164/rmrs_gtr164_13_land_assess.pdf
18. Normalized Burn Ratio (NBR). Office for Outer Space Affairs. UN-SPIDER Knowledge Portal. URL: <https://un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio>
19. Shcheglov O., Biletska M., Babiichuk S., Tomchenko O., Davybidia L., Kurach T. Introduction to NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15600456>
20. Sivrikaya F., Saglam B., Akay A. E., Bozali N. Evaluation of Forest Fire Risk with GIS. *Polish journal of environmental studies*. 2014. Vol. 23. No 1. P. 187-194. URL: https://www.researchgate.net/publication/288597149_Evaluation_of_Forest_Fire_Risk_with_GIS
21. Supriadi A., Oswari T. Analysis of Geographical Information System (GIS) design application in the Fire Department of Depok City. *Technium Social Sciences Journal*. 2020. Vol. 8. P. 1–7. <https://doi.org/10.47577/tssj.v8i1.181>
22. Tutorials & Examples. FIRMS. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/tutorials/>

References

23. Babushka, A., Babi, L., Chetverikov, B., & Sevruck, A. (2021). Research of forest fires using remote sensing data (on the example of the Chernobyl exclusion zone). *Geodesy, cartography and aerial photography*, 94, 35–43. <https://doi.org/10.23939/istegcap2021.94.035> (in Ukrainian)
24. Bandurka, O., & Svynchuk, O. (2022). Method of identification of space images for forecasting forest fires. *Control, navigation and communication systems*, 1(67), 13–18. <https://doi.org/10.26906/sunz.2022.1.013> (in Ukrainian)
25. Borysenko, O. I., & Meshkova, V. L. (2021). *Forecasting the spread of fires and harmful insect populations in pine forests using GIS*. Planeta-Print. (in Ukrainian)
26. Zatserkovnyi, V., Savkov, P., Pampukha, I., & Vasetska, K. (2020). Application of GIS and remote sensing of the earth for the forest fire monitoring. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military-Special Sciences*, 2(44), 54–58. <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.54-58> (in Ukrainian)
27. Adab, H., Kanniah, K. D., & Solaimani, K. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural hazards*, 65(3), 1723-1743. DOI 10.1007/s11069-012-0450-8
28. Biletska, M., Babiichuk, S., Tomchenko, O., Davybidia, L., Kurach, T., & Shcheglov, O. (2025). Assessing Tree Cover Based on Remote Sensing Data (Case Study Territory of Drevlians Nature Reserve in Zhytomyr Oblast). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15577839>
29. Chuvienco, E., & Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(3), 333–345. <https://doi.org/10.1080/02693799608902082>
30. European Space Agency. (2025). *Copernicus Browser guide*. https://www.esa.int/Education/Copernicus_Browser_guide
31. Copernicus Browser. (2025). *Copernicus Browser*. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
32. EO Browser. (2025). *EO Browser*. <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>
33. Sentinelhub. (2025). *Fire Boundary Script*. https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/fire_boundary/
34. Wikipedia. (2025). *Fire Information for Resource Management System*. https://en.wikipedia.org/wiki/Fire_Information_for_Resource_Management_System
35. FIRMS. (2025a). *Global Fire Map*. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map>
36. Gonzales, C. (2022). Scorched Earth: Using NASA Fire Data to Monitor War Zones. *Bellingcat*. <https://www.bellingcat.com/resources/2022/10/04/scorched-earth-using-nasa-fire-data-to-monitor-war-zones/>
37. Google Earth Engine. (2025). *Google Earth Engine*. <https://earthengine.google.com/>
38. Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 4(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)
39. Key, C. H., & Benson, N. C. (2025). Landscape Assessment (LA). Sampling and Analysis Methods. *U. S. Department of Agriculture. Forest Service*. https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_series/rmrs/gtr/rmrs_gtr164/rmrs_gtr164_13_land_assess.pdf
40. Office for Outer Space Affairs. (2025). *Normalized Burn Ratio (NBR)*. <https://un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio>
41. Shcheglov, O., Biletska, M., Babiichuk, S., Tomchenko, O., Davybidia, L., & Kurach, T. (2025). Introduction to NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15600456>
42. Sivrikaya, F., Saglam, B., Akay, A. E., & Bozali, N., (2014). Evaluation of Forest Fire Risk with GIS. *Polish journal of environmental studies*, 23(1), 187-194. URL: https://www.researchgate.net/publication/288597149_Evaluation_of_Forest_Fire_Risk_with_GIS
43. Supriadi, A., & Oswari, T. (2020). Analysis of Geographical Information System (GIS) design application in the Fire Department of Depok City. *Technium Social Sciences Journal*, 8, 1–7. URL: <https://doi.org/10.47577/tssj.v8i1.181>
44. FIRMS. (2025b). *Tutorials & Examples*. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/tutorials/>