

Мельник Є. Є., старший науковий співробітник сектору екології лісу,
кандидат сільськогосподарських наук,
Український науково-дослідний інститут лісового господарства та
агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, Україна, wudckij1985@gmail.com
Сидоренко С. Г., старший дослідник та завідувач
сектору екології лісу, кандидат сільськогосподарських наук,
Український науково-дослідний інститут
лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, Україна,
serhii88sido@gmail.com

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА МОЖЛИВОСТІ СУЧАСНИХ СВІТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПОЖЕЖ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ ДЛЯ ЛІСІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ

В умовах триваючої війни рф проти України одним із важливих питань для лісової галузі залишається оцінювання та збереження лісів пошкоджених в результаті бойових дій. Масштабне всихання та повне знищення значних площ лісових насаджень призводить до катастрофічних економічних, екологічних та соціальних збитків. Значні площі території України забруднені нездетонованими боєприпасами та є замінованими, що значно підвищує ризик числа займань та площі неконтрольованого поширення пожеж у лісі, а також обмежує наземний спосіб збору інформації. За таких умов вирішення питань щодо моніторингу пожеж та оцінки наслідків пошкоджень лісів як вогнем, так і в результаті ведення бойових дій, в цілях безпеки на окремих територіях доцільно проводити на основі засобів дистанційного зондування (ДЗЗ). Використання ДЗЗ для моніторингу стану лісу і лісових пожеж, аналізу площі пройдених пожежами та наслідків пожеж для лісів. У наш час такі технології мали значний розвиток і є звичною практикою, що використовується в лісовому секторі багатьох країнах світу. Детальний аналіз ряду сучасних наукових публікацій різних способів і методів ДЗЗ дозволив встановити їх переваги та обмеження в умовах активних бойових дій на території України. (Chen et al. 2024; Chuvieco et al., 2020; Dubayah et al., 2020; Guiop-Servan et al., 2025; Jain, et al., 2020; .LoPresti et al., 2024; Saleh et al., 2023; Szpakowski et al., 2019; Yang, 2024).

Одні з найбільш безпечних способів для недоступних територій (з веденням активних бойових дій та окупованих територій) є супутникові дані оптичних, радарних (SAR) та Lidar сенсорів. При цьому супутникові оптичні сенсори (наприклад, Sentinel-2, Landsat-8/9) дозволяють оцінити зміни у відбивній здатності рослинності (із використанням індексів NDVI, NBR, dNBR) після пошкодження вогнем. Теплові сенсори (MODIS, VIIRS) можуть фіксувати температурні аномалії – «гарячі точки» та опосередковано тривалість пожежі. Радарні системи SAR (Sentinel-1, ALOS PALSAR) ефективні при наявності диму та хмарності, дають змогу оцінити зміну структури лісу, а отже і ступінь його пошкодження навіть за несприятливих погодних умов (таблиця).

Таблиця Використання технологій дистанційного зондування для моніторингу пожеж та їх наслідків

Сенсор / Технологія	Переваги	Обмеження	Основні напрямки для застосування	Джерело
MODIS / VIIRS, Sentinel-3	Глобальне просторове покриття, висока частота знімання; можливість детекції термальних аномалій	Низьке просторове розрізнення (250-500 м), слабка здатність виявляти низові лісові пожежі малої інтенсивності	Виявлення активних пожеж, моніторинг поширення великих пожеж, реконструкція пожеж, оцінка площі вигорання, глобальний моніторинг	Szpakowski & Jensen, 2019; Chen et al., 2024
Landsat (30 м) / Sentinel-2 (10–20 м)	Високе просторове розрізнення, глобальне покриття	Низька частота повторного знімання (5–16 днів), обмеження через хмарність і задимленість	Картування площ пожеж (периметрів пожеж), оцінка інтенсивності та впливу пожеж, відновлення рослинності із використанням багато спектральних індексів (dNBR, dNDVI та інш), картування та оцінювання комплексів рослинних горючих матеріалів	Chuvieco et al., 2020; Guiop-Servan et al., 2025
SAR (Sentinel-1, ALOS-PALSAR, RADARSAT, TerraSAR-X)	Можливість використання знімків незалежно від хмарності та задимленості; часу доби, чутливість до змін у лісі	Складна інтерпретація та обробка даних, обмежена чутливість до низької щільності рослинності; потреба у калібруванні моделей	Картування периметра пожежі, оцінка fire severity (більшою мірою через структурні зміни крони), оцінка вмісту вологи та структури горючих рослинних матеріалів	Chuvieco et al., 2020

Сенсор / Технологія	Переваги	Обмеження	Основні напрямки для застосування	Джерело
Геостационарні супутники (GOES, MSG)	Дуже висока часова роздільна здатність (кожні 5–15 хв), оперативне виявлення великих пожеж	Низьке просторове розрізнення (1–3 км), складно відрізнити пожежі від інших джерел тепла	Раннє виявлення займання, оперативний моніторинг динаміки пожежі	Yang, 2024
LiDAR (GEDI)	Значне покриття; здатність вимірювати висоту крон і вертикальну структуру на зразках траєкторій	Точкові дані (не суцільні поверхні), потребує інтеграції з іншими джерелами даних для wall-to-wall картування	Оцінка наземних і надземних горючих матеріалів, моніторинг постпірогенного відновлення	Szpakowski & Jensen, 2019; LoPresti et al., 2024
ICESat-2 (photon-counting LiDAR)	Глобальне покриття; здатність вимірювати висоту крон і вертикальну структуру на зразках траєкторій	Точкові дані (не суцільні карти), потребує інтеграції з іншими джерелами	Оцінка структури крони, біомаси, горючих матеріалів у верхньому ярусі насадження, калібрування моделей впливу пожеж на лісові екосистеми	Dubayah et al., 2020; Chuvieco et al., 2020
Безпілотні літальні апарати (UAS)	Дуже висока роздільна здатність (до сантиметрів), гнучкість у часі та просторі	Обмежені територія покриття, залежність від погодних умов, обмежене використання під час війни і військового стану	Локальні дослідження (польові експерименти), моніторинг профілактичних палів, перевірка (верифікація) супутникових даних	LoPresti et al., 2024
Оптичні камери + Deep Learning (CNN, AI)	Автоматичне виявлення диму/ пожежі; підходить для реального часу; інтеграція з наземними системами спостереження	Потреба у великих навчальних датасетах; ризик помилкових спрацювань (хмари, туман, сонячні відблиски)	Системи раннього попередження, моніторинг лісових масивів	Saleh et al., 2023; Jain et al., 2020

В Україні перспективи застосування сучасних технологій моніторингу лісів до, під час і після пожеж залежать від поєднання супутникових даних та інструментів ГІС, які залишаються найбільш доступними та універсальними в умовах війни. Використання дронів із мультиспектральними, гіперспектральними та тепловізійними камерами має високий потенціал для локальних досліджень і оперативного реагування, проте нині обмежене через заборони та ризики на територіях бойових дій. Лідарні технології дають найточніші результати щодо структури та втрат лісу, однак їхня висока вартість і складність поки що стримують масштабне впровадження. Таким чином, найбільш реалістичною стратегією є комбіноване використання супутникових даних, комбінуючи використання оптичних сенсорів, SAR та space born Lidar (GEDI та IceSat-2).

Список використаних джерел

- Chen, Y., Morton, D. C., & Randerson, J. T. (2024). Remote sensing for wildfire monitoring: Insights into burned area, emissions, and fire dynamics. *One Earth*, 7(2), 162–176.
- Chuvieco, E., Pettinari, M. L., Lizundia-Loiola, J., Storm, T., & Padilla, M. (2020). Satellite remote sensing contributions to wildland fire science and management. *Current Forestry Reports*, 6(2), 81–96.
- Dubayah, R., et al. (2020). The Global Ecosystem Dynamics Investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. *Science of Remote Sensing*, 1, 100002.
- Guiop-Servan, J., Maillard, P., & Aubrecht, C. (2025). Remote sensing for wildfire mapping: A comprehensive review of advances, platforms, and algorithms. *Fire*, 8(1), 12.
- Jain, P., Coogan, S. C. P., Subramanian, S. G., Crowley, M., Taylor, S., & Flannigan, M. D. (2020). A review of machine learning applications in wildfire science and management. *Environmental Reviews*, 28(4), 478–505.
- LoPresti, E. F., Stevens, J. T., & Apigian, K. O. (2024). Remote sensing applications for prescribed burn research. *International Journal of Wildland Fire*, 33(5), 445–460.
- Saleh, S., Al-Kaff, A., & García, F. (2023). Forest fire surveillance systems: A review of deep learning methods. *Fire Technology*, 59(2), 857–889.
- Szpakowski, D. M., & Jensen, J. R. (2019). A review of the applications of remote sensing in fire ecology. *Remote Sensing*, 11(22), 2638.
- Yang, J. (2024). Advancements in remote sensing for active fire detection. *Science of the Total Environment*, 922, 168851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.168851>