



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2025.12.1.272>

УДК 528.8:528.8.04(477)

## Оцінювання пошкоджень лісів частини Куп'янського лісгоспу внаслідок пожеж, спричинених воєнними діями

М. О. Попов<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1738-8227>

А. А. Андреев<sup>1\*</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6485-449X>

С. І. Альперт<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-7284-6502>

А. Р. Лисенко<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-2923-8648>

С. І. Голубов<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-3711-598X>

<sup>1</sup> ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”, вул. Олесь Гончара, 55-Б, Київ, 01054, Україна

<sup>2</sup> ДУ “Київський авіаційний інститут”, просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна

Внаслідок російсько-української війни ліси України зазнали значних пошкоджень. За два роки війни на окупованих територіях було знищено понад 60 тис. га лісу. Лише збитки від втрати деревини перевищують 14 млрд грн, а загальні витрати на відновлення екологічного балансу можуть бути значно вищими. Однією з найбільш постраждалих областей є Харківська. Приблизно 40–45 % лісів на її території постраждали через лісові пожежі, викликані активними воєнними діями. Загальновідомо, що пошкодження або втрата лісів призводять до багатьох негативних наслідків. У цій роботі оцінено пошкодження лісів частини Куп'янського лісгоспу Харківської області. Було обрано три індикатори для оцінювання пошкоджень лісів: площа лісів, їхній стан та лісові пожежі. Враховуючи те, що через замінування наземні дослідження неможливі, дані для кожного з цих індикаторів були отримані виключно з джерел дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Площу лісів було оцінено за допомогою карт класифікацій Dynamic World, які базуються на багатоспектральних знімках Sentinel-2. Для оцінювання стану лісів використано індекс листової поверхні (LAI), який отримано з продукту MODIS. Цей показник відображає, яку частину площі пікселя покриває листова поверхня. Тобто, LAI може бути використаний для оцінювання густоти рослинного покриву. Для виявлення лісових пожеж було застосовано продукт FIRMS. У результаті проведеного експерименту було виявлено такі зміни на території дослідження: площа лісів у 2024 році зменшилася в 1,7 разу порівняно з 2021 роком; значення LAI лісів зменшилося в 1,92 разу за той самий період; за період ведення воєнних дій (з 24 лютого 2022 по 22 червня 2024 року) кількість лісових пожеж у 7,6 разу більша, ніж за аналогічний період до початку повномасштабного вторгнення (з 24 лютого 2019 по 22 червня 2021 року).

**Ключові слова:** оцінювання пошкоджень лісів, карти класифікації, індекс листової поверхні, густина рослинного покриву.

© Попов М. О., Андреев А. А., Альперт С. І., Лисенко А. Р., Голубов С. І. 2025

### Вступ

За даними Держлісагентства України, майже третина лісів країни постраждала внаслідок російсько-української війни. Лише збитки від втрати деревини оцінюються в понад 14 млрд грн. Однак, загальні витрати на відновлення екологічної шкоди можуть бути значно вищими. За два роки війни на окупованих територіях було знищено понад 60 тис. га лісу. Харківська область є одним із регіонів, які найбільше постраждали під час повномасштабного російського вторгнення в Україну. На її території пошкоджено від 40 до 45 % лісів внаслідок пожеж, спричинених активними воєнними діями (Trofymchuk et al., 2022; Tomchenko et al., 2023; Matsala et al., 2024). Одним з прикладів є Куп'янський лісгосп. Це господарство відновило свою роботу в жовтні 2022 року. Однак, через

замінування території наразі неможливо точно визначити обсяги знищеного лісу та оцінити всі завдані збитки.

Пошкодження або втрата лісів призводять до негативних наслідків: екологічна деградація (зміна клімату, збільшення ерозії ґрунтів, зниження біорізноманіття та погіршення якості води), підвищення ризику природних катастроф (збільшується ймовірність повеней, зсувів та селевих потоків, адже дерева допомагають утримувати вологу в ґрунті й зменшують швидкість поверхневого стоку води під час дощів) та економічні збитки (зокрема, страждають такі галузі економіки, як лісозаготівля, сільське господарство, туризм тощо).

Тому оцінювання пошкоджень лісів є актуальним завданням (Popov et al., 2024; Kozlova et al., 2021; Zaitseva et al., 2021). Однак, через активні воєнні дії та замінування наземні обстеження наразі є небезпечними або неможливими (Popov et al., 2022). З цієї причини доцільно використовувати засоби та

\*Corresponding author / Автор для кореспонденції:

А. А. Андреев: [artem.a.andreev@gmail.com](mailto:artem.a.andreev@gmail.com)

методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для дослідження цієї проблеми.

Отже, метою цього дослідження є оцінювання пошкоджень лісів на досліджуваній території, що є частиною Куп'янського лісгоспу в Харківській області. Воно включає виявлення змін як у площі лісів, так і в їхньому стані. Враховуючи, що безпосереднім фактором, який вплинув на пошкодження лісів, є пожежі, то в роботі також оцінено кількість пожеж, які були виявлені до та після початку воєнних дій.

## Матеріали та методи

У цьому дослідженні обрано 3 індикатори для оцінювання пошкоджень лісів, а саме: площа лісів, стан лісів та лісові пожежі, які були виявлені на обраній території дослідження. Дані, необхідні для кожного з цих індикаторів, отримано виключно з джерел ДЗЗ. Блок-схема запропонованого алгоритму оцінювання пошкоджень лісів подана на Рис. 1.

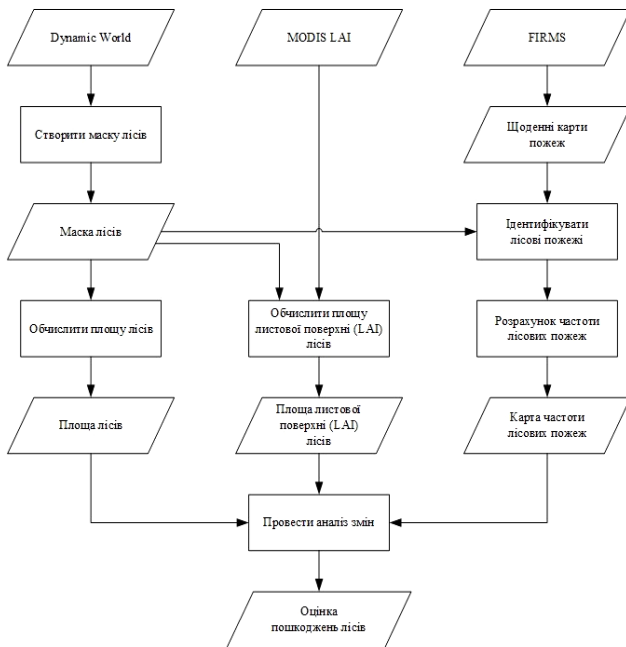


Рис. 1. Блок-схема алгоритму оцінювання пошкодження лісів

Для оцінювання стану лісів в роботі використовується **індекс листової поверхні (LAI)** (Stankevich et al., 2017). Цей показник відображає, яку частину площі пікселя покриває листова поверхня. LAI використовується для оцінювання густоти рослинного покриву та стану рослинності. Також LAI є мірою фотосинтетичної біомаси. Цей індекс має значення від "0" до "1". Значення "1" означає, що площа пікселя повністю вкрита листям. Значення "0" свідчить про повну відсутність листової поверхні. Проміжні значення LAI між "0" і "1" означають часткове покриття площі пікселя листям. Ці дані отримані з продукту MOD15A2H.061: Terra Leaf Area Index (Muneri et al., 2021). Просторове розрізнення цього продукту становить 500 м, а площа одного пікселя – 250 000 м<sup>2</sup> або 25 га. Для розрахунку листової поверхні виключно лісів треба

розглядати лише ті піксели, які належать до лісів. Такі піксели можна визначити за допомогою отриманої вище **маски лісів**. Після цього можна розрахувати **площу листової поверхні лісів** всієї території дослідження.

Для виявлення пожеж використовуються дані, отримані з продукту FIRMS (MODIS). Просторове розрізнення цього продукту становить 1000 м, а площа одного пікселя – 1 км<sup>2</sup> або 100 га, часове розрізнення – 1 день. Шар продукту FIRMS дає дані не про наявність пожежі, а вказує температуру земної поверхні, де зафіксована пожежа. Тому для отримання карти пожеж за 1 день (**щоденна карта пожеж**) необхідно трансформувати вхідний шар FIRMS у бінарну маску, де значення "1" – наявність пожежі в пікселі, а значення "0" – відсутність пожежі в пікселі. Таким чином для ідентифікації пожеж за весь період дослідження треба виконати попіксельну суму всіх щоденних карт пожеж. Для виявлення саме лісових пожеж треба розглядати лише ті піксели, що належать до лісів. Такі піксели можна визначити за допомогою отриманої вище маски лісів. Тобто, в кожному пікселі буде вказано кількість лісових пожеж, яка була виявлена в цьому квадратному кілометрі за вказаний період дослідження. Отриманий результат можна вважати **картою частоти лісових пожеж**.

## Експеримент

Експеримент передбачає порівняння лісів частини Куп'янського лісгоспу до і після початку воєнних дій. Оскільки стан лісу найбільш показовий влітку, для дослідження було обрано літо 2021 і 2024 років.

Для оцінювання площі лісів використано карти класифікації Dynamic World. У зв'язку з тим, що обрані дані базуються на оптичних знімках, для дослідження необхідно обирати виключно безхмарні знімки. З огляду на це для аналізу було обрано знімки Sentinel-2 за 22 червня 2021 року та 29 червня 2024 року. Зображення Sentinel-2 для цих дат показані на Рис. 2.

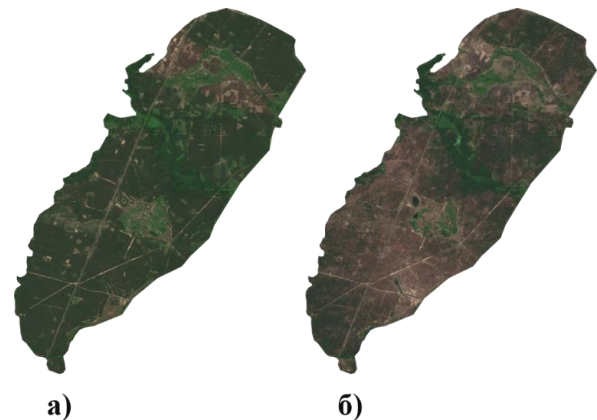


Рис. 2. Знімки Sentinel-2: а) 22 червня 2021 року; б) 29 червня 2024 року

На основі зазначених знімків Sentinel-2 було отримано дві карти класифікації Dynamic World (Рис. 3).

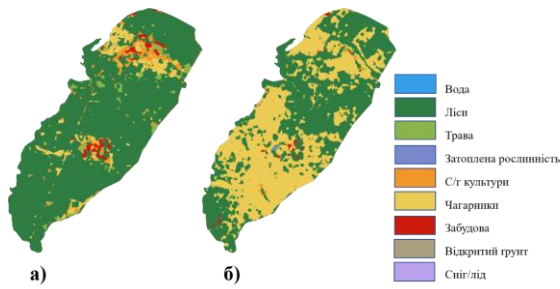


Рис. 3. Карти класифікації Dynamic World:  
а) 22 червня 2021 року; б) 29 червня 2024 року

Згідно з отриманими картами класифікації було встановлено, що площа лісу в 2021 році становила 3953 га, а в 2024 році – 2357 га. Таким чином, площа лісу зменшилася в 1,7 разів.

Оцінювання стану лісів передбачало залучення шарів LAI за 18 червня 2021 року та 25 червня 2024 року. Для кожного з цих шарів було застосовано маску лісів, отриману з карти класифікації. Після цього для кожного отриманого шару було розраховано сумарне значення LAI. Тобто, загальна площа листової поверхні лісів становила 1100 га у 2021 році та 573 га у 2024 році. Отже, показник зменшився в 1,9 разів. Зміна LAI у 2024 році відносно 2021 року відображена на Рис. 4.

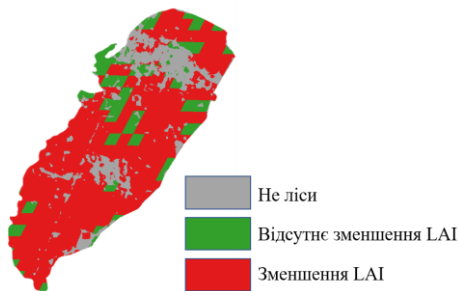


Рис. 4. Карта змін LAI у 2024 році відносно 2021 року

Враховуючи те, що основною причиною пошкоджень лісів є пожежі, також було проведено моніторинг лісових пожеж у рамках обраної досліджуваної території. Для цього були отримані щоденні карти лісових пожеж за 2 періоди: 1) з 24 лютого 2019 до 22 червня 2021 року; 2) з 24 лютого 2022 до 22 червня 2024 року. На основі цих даних було розраховано 2 карти частоти лісових пожеж згідно із запропонованим алгоритмом. Отримані карти показані на Рис. 5.

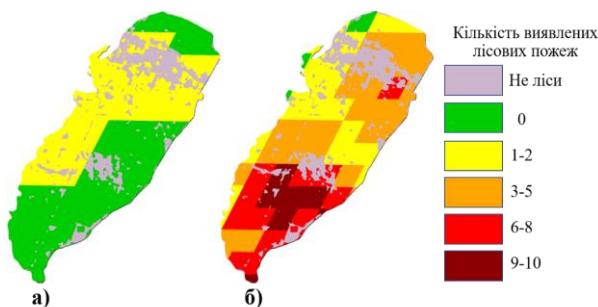


Рис. 5. Карти частоти лісових пожеж:  
а) за період з 24 лютого 2019 до 22 червня 2021 року;  
б) за період з 24 лютого 2022 до 22 червня 2024 року

Згідно з наданими картами частоти лісових пожеж було розраховано загальну кількість пожеж, які були виявлені за кожен з обраних періодів дослідження. За період з 24 лютого 2019 до 22 червня 2021 року виявлено 33 пожежі, а за період з 24 лютого 2022 до 22 червня 2024 року – 252 пожежі. Отже, за період ведення воєнних дій кількість лісових пожеж в 7,6 разів більша, ніж за аналогічний період до початку повномасштабного вторгнення.

## Висновки

У цьому дослідженні було оцінено пошкодження лісів на частині території Куп'янського лісгоспу Харківської області внаслідок воєнних дій. Це передбачало розрахунок змін як площі лісу, так і індексу листової поверхні (LAI), що вказує на густоту крон та фотосинтетичну біомасу лісу. Також було розраховано та порівняно кількість пожеж до та під час ведення воєнних дій.

Для розрахунку змін площі лісу було використано дві карти класифікації Dynamic World, що базуються на супутникових знімках Sentinel-2 за 22 червня 2021 року та 29 червня 2024 року. Результати показали, що площа лісу у 2024 році зменшилася в 1,7 разів порівняно з 2021 роком.

Для розрахунку змін LAI було отримано відповідні дані за 18 червня 2021 року та 25 червня 2024 року. Результати показали, що загальне значення LAI лісів у рамках обраної території дослідження зменшилося в 1,92 разів, що свідчить про зниження біомаси лісу.

Також було проведено моніторинг лісових пожеж за 2 періоди (до та під час ведення воєнних дій): 1) з 24 лютого 2019 до 22 червня 2021 року; 2) з 24 лютого 2022 до 22 червня 2024 року. Встановлено, що за період ведення воєнних дій кількість лісових пожеж в 7,6 разів більша, ніж за аналогічний період до початку повномасштабного вторгнення.

Отримані в цьому дослідженні дані можуть бути використані в майбутніх дослідженнях для оцінювання пошкоджень та ризиків (Stankevich et al., 2023).

**Author Contributions:** Conceptualization – M. O. Popov and A. A. Andreiev; methodology – M. O. Popov and A. A. Andreiev; formal analysis – S. I. Alpert; investigation – A. A. Andreiev and S. I. Alpert; data curation – A. A. Andreiev, A. R. Lysenko and S. I. Golubov; writing – original draft preparation – A. A. Andreiev and M. O. Popov; writing-review and editing: S. I. Alpert, A. R. Lysenko and S. I. Golubov; visualization – A. R. Lysenko and S. I. Golubov. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research funded by Grant of the National Academy of Sciences of Ukraine to research laboratories/groups of young scientists of the National Academy of Sciences of Ukraine for conducting research in priority areas of science and technology (2025–2026) for the project "Development of a geoinformation toolbox for remote assessment of shelterbelts damaged by military actions" No. State Registration 0125U001511.

**Data Availability Statement:** Data available on reasonable request from the authors.

**Acknowledgments:** The authors are grateful to the National Academy of Sciences of Ukraine for supporting this research. We are also grateful to the reviewers and editors for their valuable comments, recommendations, and attention to the work.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest

**Внесок авторів:** Концептуалізація – М. О. Попов; методологія – А. А. Андреев, формальний аналіз – М. О. Попов та А. А. Андреев; дослідження – А. А. Андреев та С. І. Альперт; оброблення даних – А. А. Андреев, А. Р. Лисенко та С. І. Голубов; підготовка тексту статті: авторський рукопис – А. А. Андреев та С. І. Альперт; рецензування та редагування – С. І. Альперт, А. Р. Лисенко та С. І. Голубов; візуалізація – А. Р. Лисенко та С. І. Голубов. Всі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

**Фінансування:** Це дослідження профінансоване грантом НАН України дослідницьким лабораторіям / групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки у 2025–2026 рр. у рамках проєкту “Розробка набору геоінформаційних інструментів для дистанційного оцінювання стану лісосмуг, пошкоджених внаслідок воєнних дій” № держ. реєстрації 0125U001511.

**Доступність даних:** Дані можуть бути надані авторами за обґрунтованим запитом.

**Подяки:** Автори вдячні Національній академії наук України за підтримку цього дослідження. Ми також вдячні рецензентам і редакторам за їхні цінні коментарі, рекомендації та увагу до роботи.

**Конфлікти інтересів:** Автори заявляють, що не мають конфлікту інтересів

## Література / References

- Andreiev, A., Artiushyn, L. (2024). Improvement of land cover classification accuracy by training sample clustering. *Radioelectronic and Computer Systems*, 66(2), 66–72. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.2.06>.
- Brown, C. et al. (2022). Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, 9(251). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>.
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N., Herold, M., Bertels, L., & Smets, B. (2020). Copernicus Global Land Cover Layers – Collection 2. *Remote Sensing*, 12(6), 1044. <https://doi.org/10.3390/rs12061044>.
- Friedl, M., Sulla-Menashe, D. (2022). *MODIS/Terra+Aqua land cover type yearly L3 global 500m SIN grid V061* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>.
- Kokhan, S. (2007). Classification of remotely sensed data. *NATO science for peace and security. Series C. Environmental security*, 239–247. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6438-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6438-8_14).
- Kozlova, A., Stankevich, S., Svideniuk, M., Andreiev, A. (2021). Quantitative Assessment of Forest Disturbance with C-Band SAR Data for Decision Making Support in Forest Management. In *Lecture notes on data engineering and communications technologies* (pp. 548–562). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_37).
- Matsala, M., Odruzenko, A., Hinchuk, T. et al. (2024). War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically-sound forest management in post-war Ukraine. *Scientific Reports*, 14, 4131. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54811-5>.
- MODIS Collection 6 NRT Hotspot / Active Fire Detections MCD14DL. URL: <https://earthdata.nasa.gov/firms>.
- Myneni, R., Knyazikhin, Y., Park, T. (2021). MODIS / Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500 m SIN Grid V061 [Data set]. *NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center*. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD15A2H.061>.
- Popov, M., Stankevich, S., Mosov, S., Titarenko, O., Dugin, S., Golubov, S., & Andreiev, A. (2022). Method for Minefields Mapping by Imagery from Unmanned Aerial Vehicle. *Advances in Military Technology*, 17(2), 211–229. <https://doi.org/10.3849/aimt.01722>.
- Popov, M., Andreiev, A., Alpert, S., Golubov, S., Lysenko, A. (2024). Damage Assessment of the Kupiansk Forest Farm as a Result of Military Actions by Remotely Sensed Data. *International Conference of Young Professionals “GeoTerrace-2024”*, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510058>.
- Stankevich, S., Kozlova, A., Zaitseva, E. Levashenko, V. (2023). Multivariate risk assessment of land degradation by remotely sensed data. *International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, 45–50. <https://doi.org/10.1109/IDT59031.2023.10194398>.
- Stankevich, S. A., Kozlova, A. A., Piestova, I. O., Lubskeyi, M. S. (2017) Leaf area index estimation of forest using sentinel-1 C-band SAR data. *MRRS 2017 – 2017 IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, Proceedings*, 8075075, 253–256. <https://doi.org/10.1109/MRRS.2017.8075075>.
- Tomchenko, O. V., Khyzhniak, A. V., Sheviakina, N. A., Zahorodnia, S. A., Yelistratova, L. A., Yakovenko, M. I., & Stakhiv, I. R. (2023). Assessment and monitoring of fires caused by the War in Ukraine on Landscape scale. *Journal of Landscape Ecology*, 16(2), 76–97. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0011>.
- Trofymchuk, O., Vishnyakov, V., Sheviakina, N., Klymenko, V., & Tomchenko, O. (2022). Detection of thermal anomalies as a result of military actions in Ukraine by remote sensing methods. *SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. <https://doi.org/10.5593/sgem2022/2.1/s10.35>.
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., ... Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100 [Dataset]. In *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>.

## FOREST DAMAGE ASSESSMENT OF A PART OF KUPYANSK FORESTRY DUE TO FIRES CAUSED BY MILITARY ACTIONS

М. О. Попов<sup>1</sup>, А. А. Андреев<sup>1</sup>, С. І. Альперт<sup>2</sup>, А. Р. Лисенко<sup>1</sup>, С. І. Голубов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Institution “Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Science of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Olesia Honchara Str., 55-b, Kyiv, 01054, Ukraine

<sup>2</sup> State University “Kyiv Aviation Institute”, ave. Lubomir Husar, 1, Kyiv, 03058, Ukraine.

The Russian-Ukrainian war has led to considerable damage to Ukraine's forests. Over two years of war, more than 60,000 hectares of forest have been destroyed in the occupied territories. The losses from timber destruction alone exceed 14 billion hryvnias, while the total cost of restoring environmental damage could be significantly higher. Particularly in the Kharkiv region, where approximately 40–45 % of the forested areas have been impacted by wildfires triggered by ongoing military operations. It is well-established that the destruction or loss of forests has significant negative implications. In this study, we have assessed the damage to a part of

Kupyansk Forestry in the Kharkiv region. Three indicators were selected to assess forest damage: forest area, their condition, and wildfires. Data for these indicators were sourced exclusively from Earth observation (EO) technologies. The forest area was evaluated using Dynamic World classification maps, while the Leaf Area Index (LAI) from MODIS products was utilized to assess forest conditions. Given that ground-based research is impossible due to landmines, the data for each of these indicators was obtained only from remote sensing sources. This indicator reflects what part of the leaf surface covers the pixel area. Thus, LAI can be used to estimate the canopy density. Wildfires were detected using the FIRMS product. The analysis indicated the following changes in the study area: As of 2024, the forest area decreased by 1,7 times compared to 2021; LAI values for the forests fell by 1,92 times over the same period; and the number of wildfires during the military conflict (from February 24, 2022, to June 22, 2024) was 7,6 times higher than in the corresponding timeframe before the full-scale invasion (from February 24, 2019, to June 22, 2021).

**Keywords:** forest damage assessment, classification maps, Leaf Area Index, canopy density.

*Рукопис статті отримано 21.10.2024  
Надходження остаточної версії: 10.03.2025  
Публікація статті: 30.03.2025*