

УДК: 630*3:355/359:528.8

Олена Агапова* к. геогр. наук, доцент ЗВО кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: o.agarova@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3074-5524>

Віктор Лещенко* магістр географії кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: leschenko.victor@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8655-6865>

*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

Дослідження пожеж у лісах України внаслідок воєнних дій за даними дистанційного зондування Землі

Метою цієї статті є просторово-часовий аналіз поширення пожеж та виявлення вигорілих ділянок лісу за даними ДЗЗ в межах областей України, де велися активні бойові дії з початку повномасштабного вторгнення російських військ до кінця 2023 року, а також виявлення уражених пожежами лісових екосистем в межах ПЗФ.

Основний матеріал. Станом на 2023 рік за даними Держекоінспекції від бойових дій постраждало близько 3 млн га українського лісу, що відповідає майже третині усього лісового фонду країни. В зону бойових дій потрапили території 900 об'єктів ПЗФ загальною площею 1,24 млн га. У статті представлено результати аналізу поширення пожеж у період з початку повномасштабного вторгнення російських військ до кінця 2023 року в областях України, охоплених активними бойовими діями. На основі даних дистанційного зондування Землі підготовлено картографічні матеріали, які відображають зони найбільшої концентрації вигорілих територій. Особливу увагу приділено впливу бойових дій на природні лісові екосистеми та природно-заповідний фонд, що становлять близько 50% усіх лісових площ країни. У ході дослідження встановлено просторову кореляцію між поширенням пожеж і розташуванням лінії фронту, а також виявлено часову динаміку загорянь, яка збігається з періодами активізації бойових дій.

Висновки. Супутникові дані MODIS і VIIRS, використані через платформу EFFIS, показали високу ефективність у виявленні вигорілих ділянок, зокрема на територіях, недоступних через військові дії або окупацію. Водночас їхня обмежена просторова роздільна здатність знижує точність оцінки масштабів пошкоджень лісів. Представлені у статті результати просторово-часового аналізу пожеж можуть слугувати основою для виділення територій, що потребують більш детальних досліджень, спрямованих на уточнення обсягів втрат лісових екосистем, оцінку масштабів їх пошкоджень, а також розробку стратегій з відновлення лісів, постраждалих від війни.

Ключові слова: лісові екосистеми, природно-заповідний фонд, пожежі, вигорілі території, дистанційний моніторинг, воєнні дії, Україна.

Вступ.

Вихідні передумови.

Мета статті.

Виклад основного матеріалу.

Висновки.

Список використаних джерел:

1. Артамонов В. А., Легкий С. В., Корой Н. А. Оцінка ушкоджень біорізноманіття Миколаївської області внаслідок бойових дій. *XV Миколаївські міські екологічні читання*

«Збережемо для нащадків»: Матеріали конф., м. Миколаїв, 30 листоп. 2022 р. / ред.: М. М. Романенко, Л. М. Варюхіна; уклад. М. М. Романенко. Миколаїв, 2022. С. 10–12. URL: <https://eugreendimensions.chmnu.edu.ua/storage/resources/Збірник%20Екочитання%202022.2.pdf> (дата звернення: 10.12.2024).

2. Екологічний паспорт Миколаївської області. 2023. С. 140–141. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1716551342.pdf> (дата звернення: 10.12.2024).

3. Залюбовська О., Залюбовський М., Сінна О. Природно-заповідний фонд Харківської області в умовах воєнних дій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2023. Вип. 38. С. 7–16. URL: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2023-38-01>.

4. Загальна характеристика лісів України. *Офіційний сайт Державного агентства лісових ресурсів України*. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> (дата звернення: 10.12.2024).

5. Збережемо природно-заповідний фонд України. *Офіційний портал Верховної Ради України*. URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/220659.html> (дата звернення: 10.12.2024).

6. Кузик, А. Д., Товарянський, В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення. *Вісник ЛДУБЖД*. 2023. № 27. С. 16–22. URL: <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02>.

7. Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2022 рік. URL: https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/publich_zvit/publichnyi-zvit-za-2022.pdf (дата звернення: 10.12.2024).

8. Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2023 рік. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2023/zvit_lis_%202023.pdf (дата звернення: 10.12.2024).

9. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/RD-2022.zip> (дата звернення: 10.12.2024).

10. Чернявський М. В., Шукель І. В. Пожежі в лісах і збитки завдані ними внаслідок воєнних дій. *Відновлення довкілля України внаслідок збройної агресії росії*: зб. тез доп. Круглого столу, м. Львів, 17 берез. 2023 р. Львів, 2023. С. 94–98. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/11971/1/Збірник%20круглого%20столу.pdf#page=94> (дата звернення: 10.12.2024).

11. EFFIS - Active Fire Detection. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/active-fire-detection> (дата звернення: 10.12.2024).

12. Chuvieso, E., et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 225. P. 45–64. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>.

13. European Forest Fire Information System EFFIS. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/> (дата звернення: 10.12.2024).

14. Fire Information for Resource Management System. *NASA | LANCE | FIRMS*. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (дата звернення: 10.12.2024).

15. Global Wildfire Information System. *GWIS*. URL: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/> (дата звернення: 10.12.2024).

16. Kholoshyn, I. V., et al. Assessment of military destruction in Ukraine and its consequences using remote sensing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1254, no. 1. P. 012132. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012132>.

17. Matsala, M., et al. War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically-sound forest management in post-war Ukraine. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14:4131. 13 p. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54811-5>.

18. Serhii A. Shevchuk, Vyshnevskiy V. I., Olena P. B. The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War. *Journal of Landscape Ecology*. 2022. Vol. 15, no. 3. P. 36–53. URL: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017>.

Ahapova Olena Leontiivna – Ph.D. in Geography, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: o.agapova@karazin.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3074-5524>

Leshchenko Viktor Sergiyovych - Master of Geography, The Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: leschenko.victor@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8655-6865>

STUDY OF FORESTS FIRES IN UKRAINE AS A CONSEQUENCE OF MILITARY ACTIONS ACCORDING TO REMOTE EARTH SENSING DATA

The purpose of the article is to conduct a spatiotemporal analysis of wildfire spread and identify burned forest areas using remote sensing data within the regions of Ukraine that experienced active combat from the start of the full-scale Russian invasion until the end of 2023. Additionally, it seeks to identify forest ecosystems affected by fires within protected areas.

The main material. As of 2023, according to the State Environmental Inspection, approximately 3 million hectares of Ukrainian forests have been affected by hostilities, which accounts for nearly one-third of the country's entire forest fund. The combat zone has included the territories of 900 protected areas with a total area of 1.24 million hectares. The article presents the results of an analysis of fire spread from the beginning of the full-scale invasion of Russian forces until the end of 2023 in regions of Ukraine affected by active hostilities. Based on remote sensing data, cartographic materials were prepared to illustrate zones of the highest concentration of burned areas. Particular attention is given to the impact of hostilities on natural forest ecosystems and the protected areas, which comprise approximately 50% of the country's total forested areas. The study identified a spatial correlation between the spread of fires and the location of the front line, as well as a temporal dynamic of ignitions that coincides with periods of intensified combat activities.

Conclusions and further research. Satellite data from MODIS and VIIRS, utilized via the EFFIS platform, demonstrated high effectiveness in detecting burned areas, particularly in regions inaccessible due to military operations or occupation. However, their limited spatial resolution reduces the accuracy of assessing the scale of forest damage. The spatial-temporal fire analysis results presented in the article may serve as a foundation for identifying areas requiring more detailed investigations. These investigations should aim to refine estimates of forest ecosystem losses, evaluate the extent of damage, and develop strategies for restoring forests affected by the war.

Keywords: forests, protected areas, fires, burned areas, remote sensing, military actions, Ukraine.

References:

1. Artamonov, V. A., Lehkyi, S. V., Koroi, N. A. (2022). Assessment of biodiversity damage in Mykolaiv region due to hostilities. *Proceedings of the XV Mykolaiv City Ecological Readings "Preserve for Future Generations"*, November 30, 2022, 10-12. <https://eugreendimensions.chmnu.edu.ua/storage/resources/Збірник%20Екочитання%202022.pdf> [in Ukrainian].
2. Environmental Passport of Mykolaiv Region (2023), 140-141. <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1716551342.pdf> [in Ukrainian].
3. Zaliubovska, O., Zaliubovskyi, M., Sinna, O. (2023) Protected areas of Kharkiv region in the conditions of military operations. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (38), 7–16. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2023-38-01> [in Ukrainian].
4. The State Forest Resources Agency of Ukraine. (2024). *General Characteristics of Forests of Ukraine*. <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> [in Ukrainian].
5. The Verkhovna Rada of Ukraine. (2024). *Preserve the Nature Reserve Fund of Ukraine*.

<https://www.rada.gov.ua/news/razom/220659.html> [in Ukrainian].

6. Kuzyk, A. D., Tovaryanskyi, V. I. (2023). Impact of hostilities on forest ecosystems of Ukraine and their post-war restoration. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, (27), 16-22. <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02> [in Ukrainian].

7. Public Report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2022. <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/public/zvit/publichnii-zvit-za-2022.pdf> [in Ukrainian].

8. Public Report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2023. https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2023/zvit_lis_%202023.pdf [in Ukrainian].

9. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2023). *Regional Reports on the State of the Environment in Ukraine for 2022*. <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/RD-2022.zip> [in Ukrainian].

10. Cherniavskyi, M. V., Shukel, I. V. (2023). Forest fires and the damage they caused as a result of hostilities. *Environmental Recovery of Ukraine Due to Russian Armed Aggression: Proceedings of the Round Table*, March 17, 2023, Lviv State University of Life Safety, 94-98. <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/11971/1/36ipник%20круглого%20столю.pdf#page=94> [in Ukrainian].

11. EFFIS. *Active Fire Detection EFFIS*. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/active-fire-detection> [in English].

12. Chuvieco, E., Mouillot, F., Van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., ... & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013> [in English].

13. EFFIS. *European Forest Fire Information System (EFFIS)*. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/> [in English].

14. NASA | LANCE | FIRMS. *Fire Information for Resource Management System*. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> [in English].

15. GWIS. *Global Wildfire Information System*. <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/> [in English].

16. Kholoshyn, I. V., Syvyj, M. J., Mantulenko, S. V., Shevchenko, O. L., Sherick, D., & Mantulenko, K. M. (2023). Assessment of military destruction in Ukraine and its consequences using remote sensing. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (1), 012132. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012132> [in English].

17. Matsala, M., Odruzhenko, 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(1), 4131. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54811-5> [in English].

18. Serhii, A. S., Vyshnevskyi, V. I., & Bilous, O. P. (2022). The use of remote sensing data for investigation of environmental consequences of Russia-Ukraine war. *Journal of Landscape Ecology*, 15(3), 36-53. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017> [in English].