

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-01

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.

Як цитувати: Агапова О., Лещенко В. Дослідження пожеж у лісах України внаслідок воєнних дій за даними дистанційного зондування Землі. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 6–17. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-01>

In cites: Aharova, O., Leshchenko, V. (2024). Study of forests fires in Ukraine as a consequence of military actions according to remote earth sensing data. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 6–17. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-01> (in Ukrainian)

Вступ. Повномасштабна війна в Україні чинить значний негативний вплив на довкілля, зокрема на лісові екосистеми, які зазнають пошкоджень внаслідок бомбардувань, забруднення металобрухтом, небезпечними хімічними речовинами, масштабних пожеж та несанкціонованих рубок. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України станом на листопад 2023 року бойові дії охоплювали близько 30 тис. км² лісових територій країни. Окремого дослідження потребують наслідки пожеж, спричинених воєнними діями, для лісових ландшафтів природно-заповідного фонду (ПЗФ) України. Це дозволило б зрозуміти масштаби втрат лісів, оцінити завдані збитки та в подальшому сформулювати науково обґрунтовані стратегії їх відновлення. За офіційними даними [5] станом на 1 березня 2022 року у зону бойових дій потрапили території 900 об'єктів ПЗФ загальною площею 1,24 млн га, що складає приблизно третину загальної площі ПЗФ України. Під загрозою знищення опинилося близько 200 територій (2,9 млн га) Смарагдової мережі. Частина цих територій зазнала масштабних пожеж. Триваюча війна призводить до зростання негативних екологічних наслідків, що підкреслює необхідність поточного моніторингу, збору даних і оцінки збитків, зокрема для лісового фонду.

Вихідні передумови. Відповідно до статті 4 Лісового кодексу України всі лісові масиви на території України, незалежно від їхнього основного призначення та правового статусу власності, вважаються лісовим фондом країни і підлягають захисту з боку держави. До 50% лісів мають обмежений режим лісокористування й переважно екологічне значення, а частка заповідних лісів складає 16,1% [4]. 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. За даними звіту [7] Державного агентства лісових ресурсів України за 2022 рік внаслідок війни 2,9 млн га лісів пошкоджені в різному ступені. З урахуванням лісів Автономної республіки Крим та ОРДЛО (окремих районів Донецької і Луганської областей), окупованих з 2014 року, станом на початок 2023 р. близько 1 млн га лісу перебувало в окупації або зазнало деструктивного впливу в результаті активних бойових дій. Наведені оцінки шкоди, заподіяної лісам, різняться в залежності від застосованої методики, вихідних даних та часових періодів, що бралися до розрахунку.

Стан лісів та наслідки воєнних дій для лісових екосистем стали предметом досліджень науковців. Загальні відомості про негативні наслідки війни для лісів України розглядали у своїх роботах Кузик А., Товаряньський В. [6], Чернявський М.В., Шукель І. [10]. Наслідки пожеж, що сталися через воєнні дії, за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) досліджували Томченко О. та співавтори [20], Холошин І. та співавтори [16], Мацала М. та співав-

тори [17]. Результати дистанційного моніторингу пожеж на території об'єктів ПЗФ у зоні бойових дій представлені у статті Трофимчука О. та співавторів [21]. У роботі Шевчука С. та співавторів [18] за допомогою відкритих даних супутників Aqua і Terra, NOAA-2, Suomi NPP, Sentinel і Landsat проведено аналіз поширення пожеж на територіях нафтобаз, промислових об'єктів, складах для зберігання обладнання та боєкомплекту, лісів та житлової забудови, руйнацію інфраструктурних споруд поблизу водних об'єктів. У роботі Залюбовської О. та співавторів [3] досліджено та виявлено найбільші пожежі на території національного природного парку (НПП) «Дворічанський» за даними EFFIS.

Саме пожежі є найбільш деструктивними з усіх факторів війни для природних екосистем. Вони виникають через численні бомбардування, розриви снарядів та мін, займання боєкомплекту, ураженої техніки та легкозаймистих речовин у зоні бойових дій та довкола неї. Пожежі знищують усе на своєму шляху: материнський деревостан, підріст, підлісок, що складає нижній ярус лісу, лісову підстилку, руйнує ґрунтовий покрив. При цьому втрачаються лісові ресурси, що могли б бути використані для заготівлі деревини, відбувається небажане заміщення хвойних рослин листяними, втрачаються популяції тварин, у заповідних територіях зникають реліктові види, що несе часто незворотні зміни природним комплексам [10]. Наразі оцінка стану лісів ускладнена тим, що до значних територій фізичний доступ обмежено через окупацію, ведення активних бойових дій та замінованість територій. В таких умовах дані ДЗЗ є єдиним джерелом, що дає можливість оцінити масштаби втрат лісів та негативний вплив війни на компоненти довкілля. Згідно з Методикою, затвердженою наказом Міндовкілля № 424 від 13.10.2022 р., для оцінки шкоди та збитків, завданих ПЗФ, можливе використання даних ДЗЗ наряду з іншими джерелами інформації.

Метою 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.

Виклад основного матеріалу дослідження. За рахунок даних мультиспектральних космічних знімків можливо виявити зміни у спектральних характеристиках земної поверхні, викликані пожежами. Основні підходи виявлення вигорілих ділянок рослинного покриву базуються на застосуванні даних ближньої (NIR) та короткохвильової (SWIR) інфрачервоної області випромінювання. Вони є особливо чутливими до впливу вогню, оскільки зменшення індексу площі листя при повному вигорянні та його пігменту (вмісту хлорофілу) при частковому обпаленні рослинності призводить до значно-

го зниження коефіцієнта відбиття в діапазоні NIR. І водночас зниження вмісту вологи внаслідок спалювання призводить до збільшення значень у SWIR діапазоні. Засновуючись на цих закономірностях вченими (López García and Caselles (1991); Key та Benson, (1999); Brewer та ін. (2005); Eidenshink та ін. (2007)) були запропоновані спектральні індекси для виявлення вигорілих ділянок та/або ступеня вигорання, зокрема нормалізований індекс горіння (Normalized Burn Ratio – NBR) та диференційований нормалізований індекс горіння (Differenced (or delta) Normalized Burn Ratio – dNBR). Для територій активних пожеж найбільш чутливими зонами спектру є середня інфрачервона (MIR: 2,5–8 мкм) і тепла інфрачервона (TIR: 8–14 мкм) смуга, хоча яскравість SWIR також значно збільшується під час активних пожеж, що дає можливість використовувати датчики супутників із середньою роздільною здатністю для активного виявлення пожеж. Ще у 1990-х роках, контраст випромінювання у MIR та TIR діапазонах між осередками активних пожеж та фоном (оточуючими територіями) дозволив створити перші глобальні продукти виявлення пожеж на основі знімків удосконаленого радіометра з дуже високою роздільною здатністю (Advanced Very High-Resolution Radiometer – AVHRR) (Ahern та ін. (2001); Dwyer та ін. (2000)) [12].

Такі супутникові системи, як MODIS і VIIRS, використовують теплові інфрачервоні сенсори для виявлення осередків активних пожеж у реальному часі. Наразі існує низка геоінформаційних онлайн-платформ із моніторингу пожеж, які базуються на даних цих та інших супутникових систем. Найбільш відомими є веб-сервіси FIRMS, NASA (Fire Information for Resource Management System – Інформаційна система про пожежі для управління ресурсами) [14], GWIS (Global Wildfire Information System – Глобальна інформаційна система лісових пожеж), що є спільною ініціативою Group on Earth Observations (GEO) та програми ЄС Copernicus [15] або EFFIS (European Forest Fire Information System – Європейська інформаційна система лісових пожеж) [13], що є частиною програми ЄС Copernicus під керівництвом Служби управління надзвичайними ситуаціями (EMS). Ці інформаційні ресурси надають можливість спостерігати за поширенням активних пожеж та визначати вигорілі ділянки станом на поточний день та за минулі періоди.

Веб-сервіс FIRMS [14] надає дані про активні пожежі майже в реальному часі від спектродіометра з середньою роздільною здатністю MODIS на борту супутників TERRA та AQUA, а також набору радіометрів видимого та інфрачервоного діапазону Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) на борту S-NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership), NOAA 20 та NOAA 21 (відомих як JPSS-1 і JPSS-2). Для США та Канади дані виявлення активних пожеж FIRMS доступні в режимі реального часу,

а для всіх інших країн світу – протягом трьох годин після супутникового спостереження. Активні пожежі виявляються та локалізуються автоматизованими алгоритмами на підставі «теплових аномалій» (коли різниця температур між потенційною пожежею та земним покривом навколо неї перевищує заданий поріг). Просторова роздільна здатність пікселя активного виявлення пожежі становить 1 км для MODIS та 375 м для VIIRS, а періодичність зйомки – 1-2 рази на добу. Таким чином, дані VIIRS та MODIS доповнюють взаємодоповнюють одне одного, забезпечуючи виявлення менших за площею пожеж і дозволяючи більш точно окреслювати периметри великих пожеж. Дані про активні пожежі доступні для перегляду на картографічному веб-сервісі FIRMS FIRE MAP або через сервіс NASA WORLDVIEW.

Європейська інформаційна система EFFIS використовує дані про активне виявлення пожеж, надані NASA FIRMS. Для того, щоб звести похибку до мінімуму (не всі гарячі точки, виявлені супутниковою зйомкою, є пожежами) та відфільтрувати активні пожежі, які не кваліфікуються як лісові пожежі (наприклад, спалювання сільськогосподарських культур), система відображає лише відібрану підмножину гарячих точок з тих, що виявлені FIRMS. Для цього використовується алгоритм, який враховує ступінь пошкодження навколишнього ґрунтового покриву, відстань до міських територій і штучних поверхонь, рівень надійності «гарячої точки» [11]. Інформація про активні пожежі зазвичай оновлюється 6 разів на день і стає доступною в EFFIS протягом 2-3 годин після отримання зображень MODIS/VIIRS.

Для визначення та картографування вигорілих ділянок EFFIS у 2003 році був запроваджений модуль швидкого аналізу Rapid Damage Assessment (RDA), що спочатку виявляв вигорілі території лише під час сезону пожеж шляхом напівавтоматичної класифікації щоденних зображень MODIS із просторовою роздільною здатністю 250 м, які були доступні протягом кількох годин після зйомки. Швидка оцінка забезпечувала щоденне оновлення меж вигорілих ділянок на території Європи для пожеж площею близько 30 га і більше. З 2018 року до алгоритмів аналізу RDA було додано використання супутникових зображень Sentinel-2, що дозволило виявляти пожежі на площі менше 30 га та уточнювати межі вигорілих ділянок, визначених за даними MODIS з деталізацією 250 м. Завдяки удосконаленому алгоритму нанесені на карту EFFIS вигорілі ділянки покривають близько 95% від загальної площі вигорілих територій у Європі.

Дані VIIRS також використовуються EFFIS для картографування вигорілих ділянок, периметри яких окреслюються автоматично на основі координат активних пожеж. Алгоритми генерують полігони майже в реальному часі, навіть за умов невеликої

хмарності чи задимленості. Завдяки піксельному окресленню форми периметрів вигорілих ділянок можуть мати чіткіші форми, ніж при класифікації зображень MODIS [19]. З огляду на те, що номінальна просторова роздільна здатність сенсора VIIRS для активного виявлення пожеж становить 375 м, мінімальна площа виявлених вигорілих ділянок складає приблизно 14 га.

У нашому дослідженні проаналізовано дані системи EFFIS щодо активних пожеж і вигорілих ділянок у лісових масивах і територіях ПЗФ у регіонах України, охоплених бойовими діями внаслідок повномасштабного вторгнення російських військ. Аналіз охоплює період з 24 лютого 2022 року до 31 грудня 2023 року та включає території Київської, Житомирської, Чернігівської, Сумської, Харківської, Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей. Картографічні матеріали, представлені у статті, ілюструють просторовий розподіл пожеж та/або вигорілих ділянок, розташування лісових масивів, а також проходження лінії бойового зіткнення, межі окупованих і звільнених територій станом на грудень 2023 року (за даними DeepStateMAP). Для ідентифікації заповідних територій, що постраждали від пожеж, було додатково використано картографічні шари даних ПЗФ України.

Дослідження включає просторово-часовий аналіз пожеж у зазначених регіонах, а також порівняння загальної кількості пожеж у 2022 році з аналогічними показниками за 2021 рік. У результаті вдалося визначити території та часові періоди, де масштаби пожеж досягали максимальних значень.

Дані EFFIS щодо активних пожеж та вигорілих територій у 2021 і 2022 роках свідчать про суттєве збільшення площ пожеж в Україні у 2022 році порівняно з попереднім роком (рис. 1 а, б). За публічними річними звітами голови Державного агентства лісових ресурсів України [7, 8] у 2022 році в межах лісового фонду було ліквідовано 1009 пожеж, що у 1,5 рази більше, ніж у 2021 році, коли було зафіксовано 659 пожеж. Загальна площа лісових пожеж, з урахуванням досліджень деокупованих територій, у 2022 році становила 22 893 га, що перевищує показник 2021 року (289 га) у 79 разів. Середня площа однієї лісової пожежі зросла у 35 разів, досягнувши 15,4 га, що вказує на значне посилення негативного впливу у 2022 році.

У 2023 році було ліквідовано 593 пожежі на площі 906,8 га, з яких 35 пожеж – це великі лісові пожежі на загальній площі 446,6 га. Середня площа однієї пожежі становила 1,5 га [8]. Утім наведені статистичні дані не є повними та остаточними, оскільки облік пожеж Державним агентством лісових ресурсів здійснювався без урахування значної частини лісів, що перебувають в зоні бойових дій та на тимчасово окупованих територіях, де проведення інструментальної зйомки площ вигорілих лісів є неможливим.

За даними EFFIS з перших днів повномасштабної війни у Житомирській, Київській та Чернігівській областях спостерігалось стрімке зростання кількості пожеж. У перший місяць воно було максимальним (рис. 2 а), а після деокупації територій у квітні 2022 року знизилось до мінімуму. Загалом на цих територіях у період ведення активних бойових дій (перший місяць повномасштабної війни) сталося більше пожеж, ніж за весь інший досліджений період, аж до кінця 2023 року (рис. 2 б).

На прикладі Київської області (рис. 3) простежується просторовий зв'язок між розташуванням вигорілих ділянок лісу та зоною ведення бойових дій у лютому-березні 2022 року. Найбільше постраждали північні райони українського Полісся.

Масштабні пожежі відбулися на території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника та Чорнобильського спеціального загальнозоологічного заказника. Вигорілі ділянки, що датуються березнем 2022 року, також були зафіксовані на території НПП «Залісся», у Святошинському лісі поблизу м. Ірпінь, у соснових лісах поблизу м. Гостомель та с. Нові Петрівці, в межах Іванівського, Поліського, Димерського, Клавдієвського, Тетерівського та Макарівського лісгоспів.

Загальна площа лісових пожеж у Київській області (без урахування Чорнобильської зони відчуження) протягом 2022 року становила 1 128,53 га, що на 1 125,37 га більше, ніж у 2021 році [9].

За час окупації Чорнобильської зони відчуження з 24.02.2022 р. до 01.04.2022 р. бойові дії спричинили пожежі, що завдали шкоди живій природі на площі 14 074 га. Після деокупації зони відчуження було зафіксовано пожежі на площі 18 132 га, які сталися через підлив боєприпасів та мін. До того ж забруднення територій вибухонебезпечними предметами ускладнило роботу пожежних служб у боротьбі з вогнем та сприяло поширенню пожеж на більші території [9].

На Житомирщині під час активних бойових дій від пожеж постраждали ліси природного заповідника «Древлянський» (знищено понад 2100 гектарів лісу [9]), Народицького та Овруцького спецлісгоспів, Білорівницького, Коростенського, Малинського та Овруцького лісгоспів.

У Чернігівській області в період активних бойових дій, які тривали з 24.02.2022 р. до 03.04.2022 р., пожежі сталися на території Міжрічинського регіонального ландшафтного парку, ландшафтного заказника місцевого значення «Рогізне», Чернігівського, Ніжинського, Семенівського, Корюківського та Прилуцького лісгоспів. За результатами польового обстеження лісових масивів після виходу з території області російських військ виявлені пошкодження лісів ДП «Городнярайагролісгосп» (3,89 га), ДП «Бобровицярайагролісництво» (14,9 га), ДП «Черігіврайагролісгосп» (497,4 га) та

ДП «Чернігівський військовий лісгосп» (416,2 га, з них біля 145 га повністю знищено пожежами) [9]. Але через систематичні обстріли та обмежений до-

ступ до лісів у прикордонних смугах області більш повне проведення польових обстежень лісових масивів неможливе.

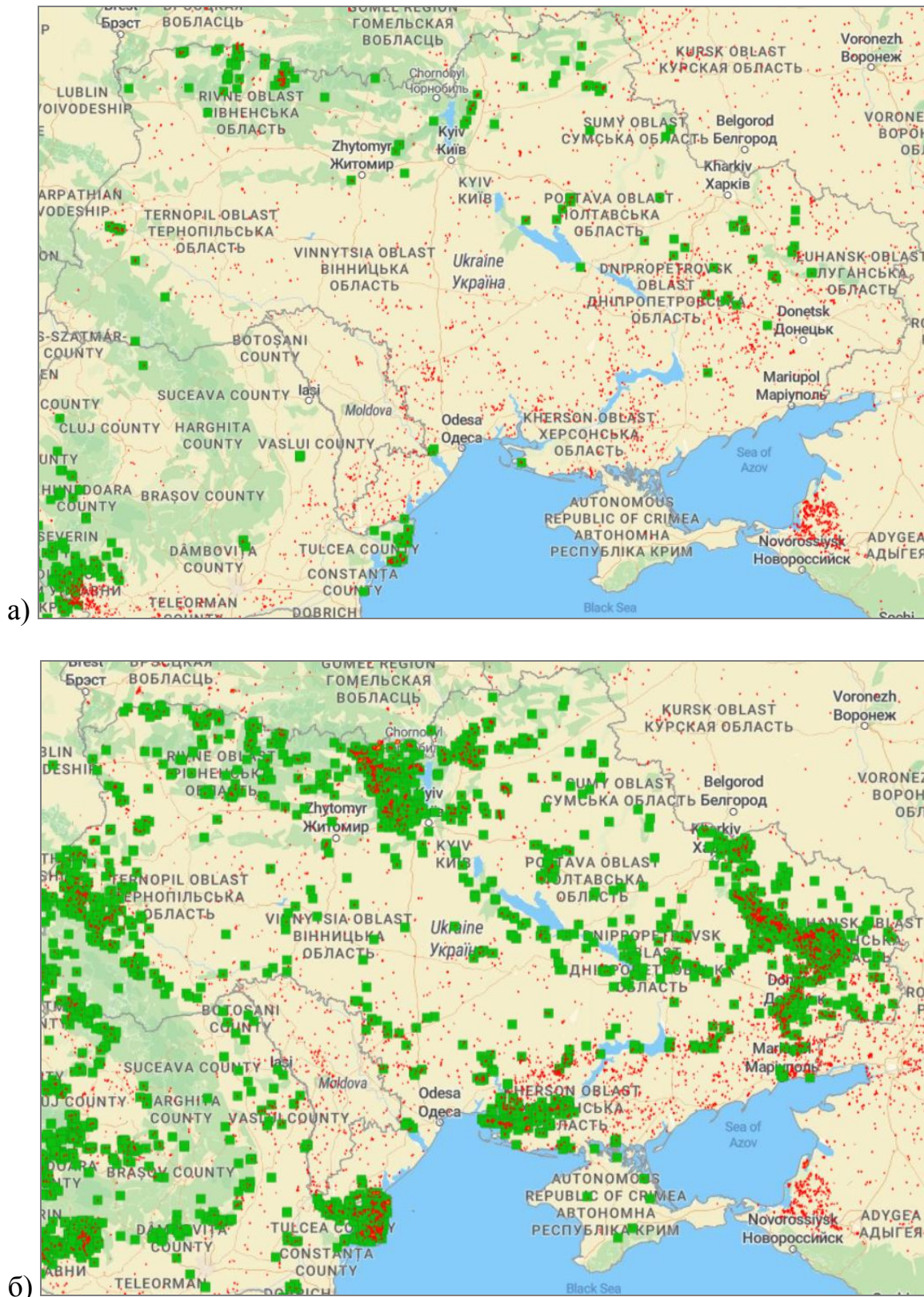
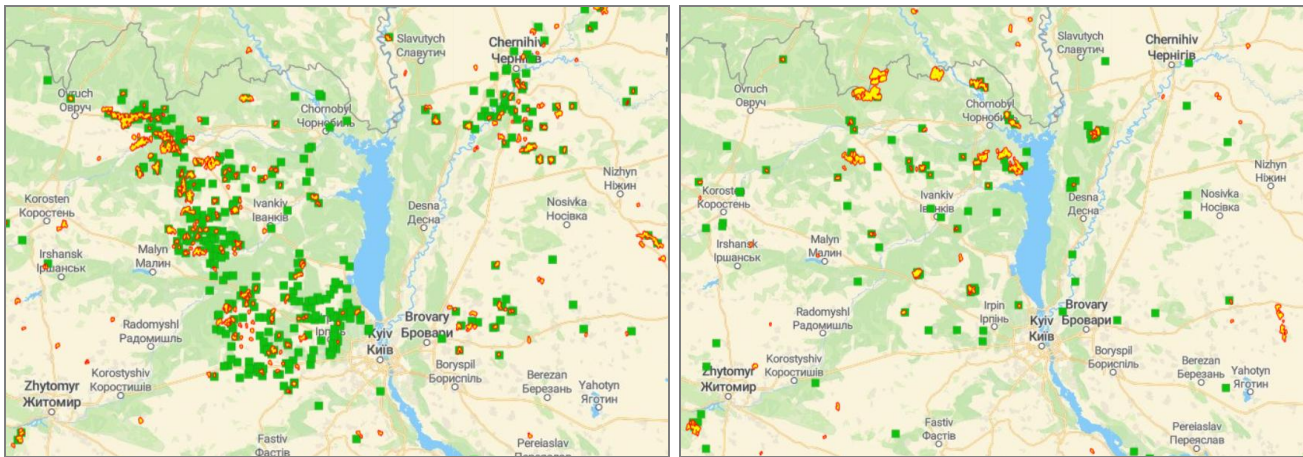


Рис. 1. Поширення активних пожеж (зелені позначки) та вигорілих територій (червоні позначки) на території України за даними EFFIS у 2021 році (а) та 2022 році (б) /

Fig. 1. Distribution of active fires (green markers) and burned areas (red markers) in Ukraine based on EFFIS data in 2021 (a) and 2022 (b).



а)

б)

Рис. 2. Поширення активних пожеж (зелені позначки) та вигорілих територій (жовто-червоні позначки) у північних областях України за даними EFFIS у період з 24.02.2022 по 31.03.2022 р. (а) та з 01.04.2022 по 31.12.2023 р. (б) /

Fig. 2. Distribution of active fires (green markers) and burned areas (yellow-red markers) in the northern regions of Ukraine based on EFFIS data from February 24, 2022, to March 31, 2022 (a) and from April 1, 2022, to December 31, 2023 (b).

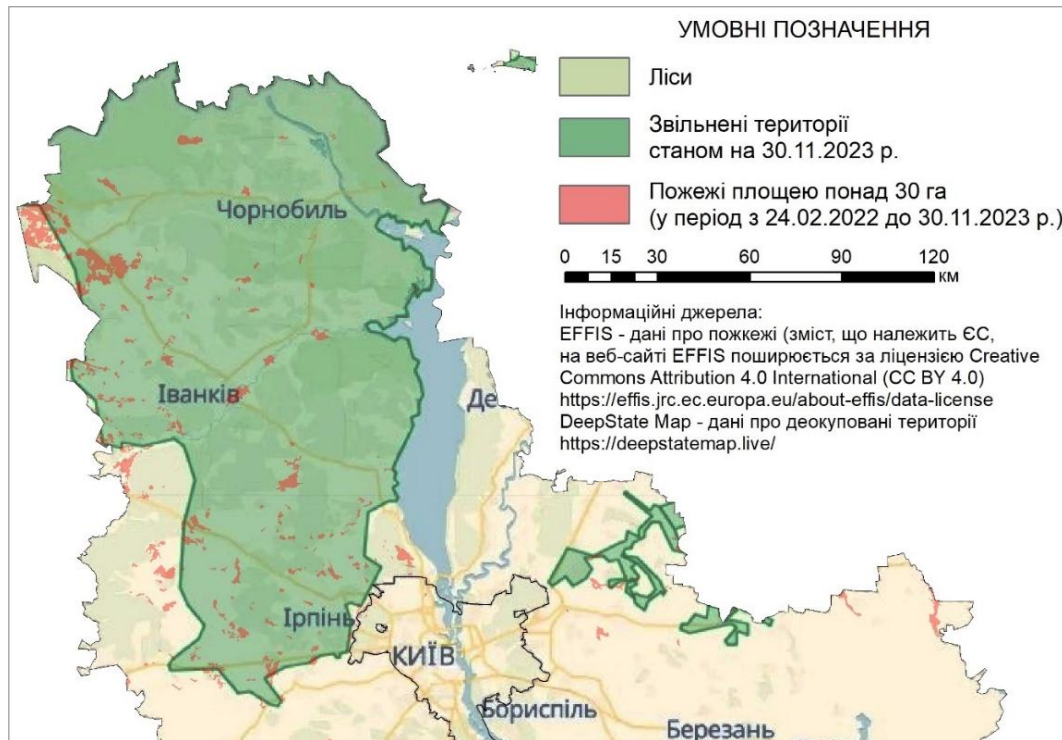


Рис. 3. Фрагмент карти вигорілих територій у Київській області у період повномасштабного вторгнення (з 24.02.2022 до 30.11.2023 р.) /
Fig. 3. A fragment of the burned areas map in Kyiv region during the full-scale invasion (from February 24, 2022, to November 30, 2023).

На Сумщині порівняно з Київською та Чернігівською областями за даними EFFIS сталося значно менше пожеж, які до того ж майже не охоплювали лісові масиви. Проте через обстріли та несанкціоновані рубки, здійснені російськими військами, на окремих ділянках лісу зафіксовано пошкодження до ступеня припинення росту дерев. Масованих обстрілів зазнали території Гетьманського НПП та НПП «Деснянсько-Старогутський» [9].

У межах Харківської та Луганської областей на початку війни кількість пожеж не була високою,

але у травні-червні 2022 року їх кількість суттєво зросла (рис. 4 а), особливо в районі Ізюмського лісового господарства та Кременського лісомисливського господарства. В цей період вздовж долини р. Сіверський Донець від м. Балаклія до м. Лисичанськ сталася найбільша кількість пожеж. На Луганщині вигоріли значні площі Серебрянського лісу Кременського лісомисливського господарства, лісові масиви Северодонецького лісомисливського господарства. Також пожежі були зафіксовані у Станично-Луганському та Новоайдарському лісо-

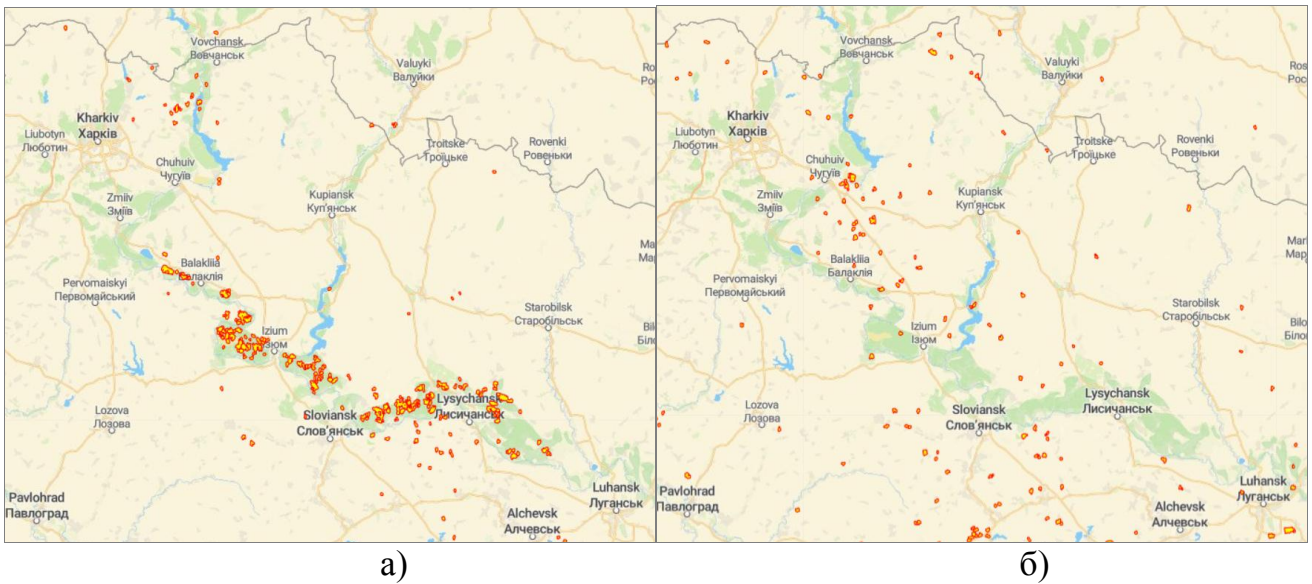


Рис. 4. Вигорілі ділянки на території Харківської та Луганської областей за даними EFFIS у періоді з травня по червень 2022 р. (а) та з серпня 2022 р. по квітень 2023 р. (б) /

Fig. 4. Burned areas in Kharkiv and Luhansk regions based on EFFIS data for the periods from May to June 2022 (a) and from August 2022 to April 2023 (b).

мисливських господарствах. За даними Державної екологічної інспекції Луганської області, у 2022 році з початку бойових дій російські окупаційні війська частково знищили лісовий фонд регіону на площі близько 26 тис. га артилерійськими, авіаційними та важкими вогнетнними системами [9]. Постраждали ліси у наступних об'єктах природно-заповідного фонду Луганщини: ботанічному заказнику місцевого значення «Серебрянський», НПП «Кременські ліси», гідрологічному заказнику місцевого значення «Кременські каптажі», заповідному урочищі місцевого значення «Дубовий гай» (що являло собою унікальну діброву природного походження віком близько 300 років), лісовому заказнику місцевого значення «Білогорівській», загальнозоологічному заказнику місцевого значення «Жеребець», заповідному урочищі місцевого значення «Капітанівський ліс» та частині Луганського природного заповідника «Трехізбенський степ».

У Харківській області пожежі сталися в межах Балаклійського (вигоріла майже вся територія лісового масиву Високий Бір), Вовчанського, Ізюмського (непоправну шкоду пожежі нанесли Ізюмському лісу), Куп'янського та Чугуєво-Бабчанського лісових господарств. Серед об'єктів ПЗФ від пожеж постраждали НПП «Дворічанський», гідрологічний заказник місцевого значення «Графський», ботанічний заказник місцевого значення «Конопляне», регіональні ландшафтні парки «Оскільський» та «Ізюмська Лука», ботанічна пам'ятка природи «Красношахтарська», заповідне урочище «Бір», ландшафтні заказники «Савинська лісова дача» (пожежі охопили майже всю територію) та «Крейдянська лісова дача».

Аналіз даних EFFIS за різні часові періоди показав, що ситуація зі збільшеною кількістю пожеж

на території Луганщини, Харківщини та півночі Донеччини тривала у травні-червні 2022 року, дещо менше здійсмань було в липні, і майже відсутні пожежі в серпні цього року. З того часу і до травня 2023 року лісових пожеж на цих територіях практично не було (рис. 4 б). У травні 2023 року сталися масштабні пожежі на території Серебрянського лісу (на захід від Лисичанська), де в цей час російські війська вели активні штурмові дії позицій Збройних сил України. Просторовий аналіз вигорілих ділянок у травні-червні 2022 року демонструє кореляцію поширення пожеж з проходженням лінії фронту, у той час російські окупаційні війська вели наступ на міста Лисичанськ, Северодонецьк, Лиман. Слід зазначити, що в період Харківського контрнаступу (вересень 2022 року) масштабні лісові пожежі не фіксувалися (рис. 4 б).

У Донецькій області в період повномасштабної війни кількість пожеж вздовж лінії фронту суттєво зросла у порівнянні з даними 2021 року (рис. 5 а, рис. 1 а). У травні 2022 року російські окупаційні війська штурмували м. Лиман Донецької області. Через численні бомбардування та вибухи боєприпасів у соснових лісах навколо Лиману почалися масштабні лісові пожежі. Значних пошкоджень зазнали лісові насадження ДП «Лиманське лісове господарство», які входять до складу НПП «Святі Гори». За попередніми даними площа лісів природного парку, пошкоджених пожежами, обстрілами та важкою технікою, складає майже 18 тис. га. На території регіонального ландшафтного парку «Клебан-Бик», у тому числі в межах геологічної пам'ятки природи загальнодержавного значення «Клебан-Бицьке відслонення», сталися пожежі загальною площею понад 30 гектарів [9]. Масштабні пожежі мали місце в межах Дробишевського та Ямпільського лісництв.



Рис. 5. Фрагмент карти вигорілих ділянок у Донецькій області в період повномасштабної війни (з 24.02.2022 р. до 30.11.2023 року) /
Fig. 5. A fragment of the burned areas map in Donetsk region during the full-scale invasion (from February 24, 2022, to November 30, 2023)

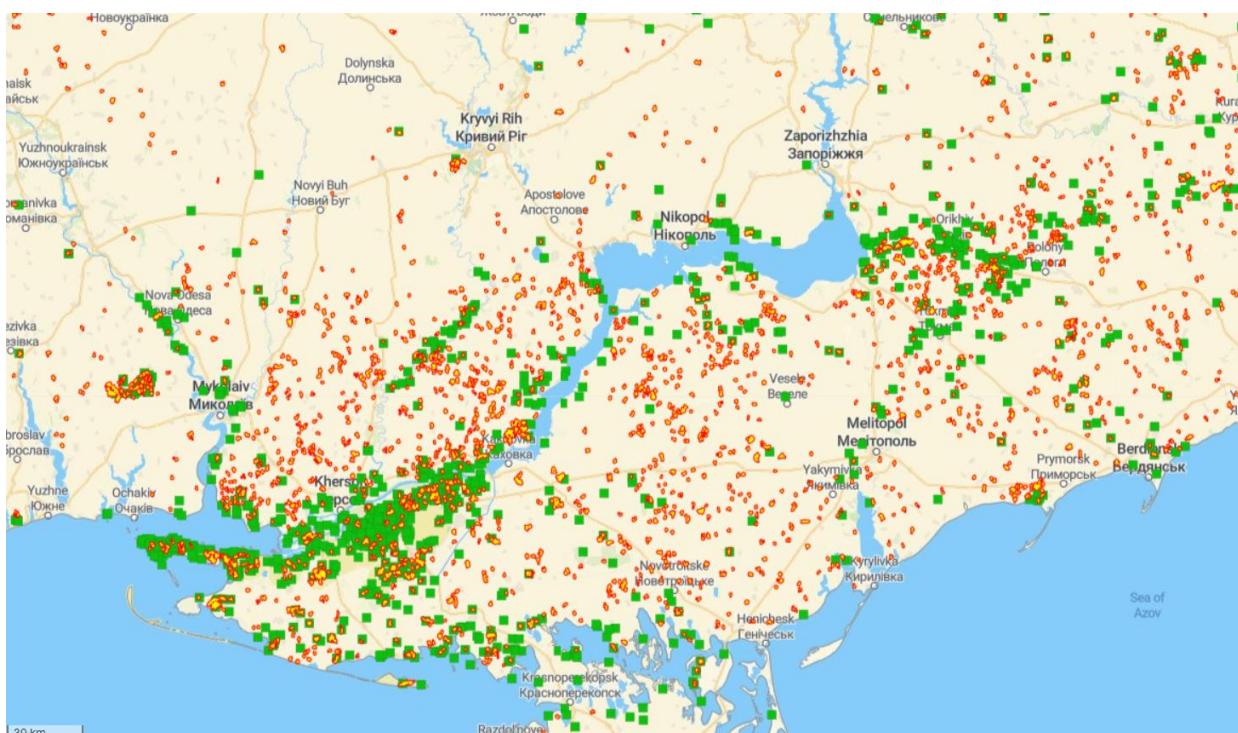


Рис. 6. Поширення активних пожеж (зелені позначки) та вигорілих ділянок (жовто-червоні позначки) на території Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей за даними EFFIS у період з 24.02.2022р. до 31.12.2023р. /
Fig. 6. Distribution of active fires (green markers) and burned areas (yellow-red markers) in Zaporizhzhia, Kherson, and Mykolaiv regions based on EFFIS data from February 24, 2022, to December 31, 2023

Крім того, пожежі сталися у лісових масивах на території Українського степового природного заповідника (відділення «Крейдова флора») та довкола Кальчицького водосховища.

У перший місяць повномасштабної війни відбулося різке зростання кількості пожеж вздовж меж тимчасово окупованих територій Донбасу (ОРДЛО). У подальшому висока концентрація пожеж спостерігалася у травні-червні 2022 року у лісах поблизу м. Лиман та м. Святогірськ, у липні-серпні 2022 року зростає кількість пожеж довкола міст Бахмут, Мар'їнка, Вугледар. У наступні місяці до липня 2023 року вигоріли ділянки в межах лісових масивів відсутні. У серпні та вересні 2023 року зафіксовано пожежі не лише вздовж лінії фронту, а й по всій території Донеччини, що пов'язано з високою пожежонебезпекою у цей період року.

На територіях Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей, як і в інших регіонах, максимальна концентрація пожеж зосереджена вздовж лінії фронту (рис. 6). Однак часовий розподіл пожеж у південних регіонах має свої особливості: на початку повномасштабної війни їх кількість була мінімальною, а починаючи з травня 2023 року, почала поступово зростати, досягнувши піку у вересні 2023 року. Після цього, з настанням холодного сезону, виникнення пожеж зменшилося до мінімуму. Найбільша концентрація вигорілих територій спостерігається в районах, де тривали інтенсивні бойові дії, зокрема навколо дельти Дніпра (Херсонська область) та поблизу м. Орхів (Запорізька область).

У Херсонській області пожежі відбувалися у Великоолександрівському, Каховському лісових господарствах, Збур'ївському, Олешківському, Голопристанському, Великокопанівському лісомисливських господарствах та Степовому філіалі УкрНДІЛГА. Від пожеж постраждали лісові ділянки та інша природна рослинність у наступних об'єктах природно-заповідного фонду: НПП «Джарилгацький», «Кам'янська Січ», Нижньодніпровському НПП, Чорноморському біосферному заповіднику, ботанічному заказнику «Хрестова Сага», загальнозоологічному заказнику «Корсунський», ландшафтних заказниках «Інгулець», «Олександрівський», заповідному урочищу місцевого значення «Недогірський ліс». Також вигоріли ділянки Волижиного лісу та лісові насадження довкола території НПП «Олешківські піски».

На території Запорізької області від пожеж постраждали ліси у Запорізькому, Мелітопольському, Пологівському лісомисливських господарствах, Кам'янсько-Дніпровському, Приморському та Бердянському лісових господарствах. Пожежі сталися на територіях ландшафтних заказників «Іванівський бір», «Водянські кучугури», «Урочище Білозірське», «Змішаний ліс із залишками ковильно-типчакового степу» та ботанічного заказнику «Балка Білоглинка».

У Миколаївській області пожежі сталися на територіях Баштанського, Березнуватського, Володимирського, Вознесенського лісових господарств, Миколаївського та Очаківського лісомисливських господарств, постраждали лісові масиви НПП «Білобережжя Святослава», лісового заказника місцевого значення «Балабанівка» та ділянки Чорноморського біосферного заповідника «Волижин ліс». На початку повномасштабної війни внаслідок бойових дій сталася пожежа у природному заповіднику «Сланецький степ» на загальній площі 100 га. За даними Миколаївського обласного управління лісового та мисливського господарства на території Миколаївського та Баштанського лігоспів, що частково перебували під окупацією, у 2022 році через бойові дії сталася 70 пожеж загальною площею 1934,43 га. Загалом у Баштанському лісовому господарстві знищено ліси на площі 38,0 га і пошкоджено – 66,0 га, у Миколаївському лігоспі – 842,0 га та 2210,0 га відповідно [2].

Згідно з даними Державної екологічної інспекції Південно-Західного округу, що діє в межах Миколаївської та Одеської областей, НПП «Білобережжя Святослава» та РЛП «Кінбурнська коса» внаслідок бойових дій та окупації зазнали значних пошкоджень. На території Кінбурнського півострова пожежі охопили понад 2000 га земель природно-заповідного фонду, завдавши шкоди водно-болотним, степовим та лісовим екосистемам [1].

Висновки. Аналіз динаміки поширення пожеж у регіонах України продемонстрував прямий зв'язок між інтенсивністю загорянь і веденням активних бойових дій. Основними факторами виникнення пожеж є масові обстріли, влучання артилерійських снарядів та замінування територій. Значна частина пошкоджених лісів належить до ПЗФ, серед яких значних втрат зазнали унікальні та реліктові ліси. Постраждали зокрема такі об'єкти ПЗФ, як природний заповідник «Древлянський», Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, НПП «Залісся», «Кремінські ліси», «Святі гори», «Дворічанський», «Білобережжя Святослава», регіональний ландшафтний парк «Кінбурнська коса», заповідне урочище «Дубовий гай» та інші.

Окрім вогню, значну шкоду заповідним територіям завдають фортифікаційні споруди, що нерідко зводяться в межах охоронюваних зон. Замінування лісів створює додаткові ризики: вибухи мін можуть спричинити нові пожежі, ускладнюючи їх контроль і гасіння. На територіях, де активні бойові дії вже припинилися, встановлення причин пожеж є складним через залишки боеприпасів і мін. Розмінування таких зон є критично важливим для забезпечення ефективного патрулювання та боротьби з пожежами. У сучасних умовах контроль за пожежами на забруднених вибухонебезпечними предметами територіях здійснюється переважно лише з доріг або безпечних

зон, що сприяє розповсюдженню великих пожеж, які важко локалізувати.

Супутникові дані MODIS та VIIRS широко застосовуються для моніторингу пожеж, особливо на територіях, де польові дослідження ускладнені через бойові дії або замінування. Вони забезпечують оперативну інформацію про динаміку поширення пожеж, дозволяючи ідентифікувати осередки загорянь і оцінювати масштаби вигорілих площ. Однак їхня точність обмежена просторовою роздільною здатністю, що є прийнятною лише для первинного аналізу. Для детальних досліджень необхідні супутникові знімки з метровою або сантиметровою роздільною здатністю. Обмеження супутникових даних включають можливість пропуску невеликих осередків загоряння, прикритих димом або хмара-

ми, а також помилкове виявлення інших джерел тепла. Це вимагає додаткової верифікації отриманих результатів. Інструменти на кшталт EFFIS дозволяють порівнювати супутникові дані з офіційною статистикою ДСНС, підвищуючи точність аналізу.

Попри наявний моніторинг, значна частина причин загорянь залишається невстановленою через відсутність доступу до територій. Проведений у даному дослідженні аналіз за допомогою даних EFFIS може слугувати початковим етапом, що допоможе визначити зони, які потребують поглибленого вивчення. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на уточнення масштабів втрат лісових масивів, оцінку завданих збитків, виявлення незворотних змін в екосистемах і розробку стратегій для їх відновлення.

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.pdf> (дата звернення: 12.10.2024).
2. Екологічний паспорт Миколаївської області. 2023. С. 140–141. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1716551342.pdf> (дата звернення: 12.10.2024).
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: 12.10.2024).
5. Збережемо природно-заповідний фонд України. *Офіційний портал Верховної Ради України*. URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/220659.html> (дата звернення: 12.10.2024).
6. Кузик, А. Д., Товарянский, 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/public/zvit/publicnii-zvit-za-2022.pdf> (дата звернення: 12.10.2024).
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: 12.10.2024).
9. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://mer.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/RD-2022.zip> (дата звернення: 12.10.2024).
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: 12.10.2024).
11. EFFIS - Active Fire Detection. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/active-fire-detection> (дата звернення: 12.10.2024).
12. Chuvieco, 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: 12.10.2024).
14. Fire Information for Resource Management System. *NASA | LANCE | FIRMS*. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (дата звернення: 12.10.2024).
15. Global Wildfire Information System. *GWIS*. URL: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/> (дата звернення: 12.10.2024).
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>.
19. The Rapid Damage Assessment (RDA) module of EFFIS. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/rapid-damage-assessment> (дата звернення: 12.10.2024).
20. Tomchenko, O. V. et al. Assessment and monitoring of fires caused by the War in Ukraine on Landscape scale. *Journal of Landscape Ecology*. 2023. Vol. 16, no. 2. P. 76–97. URL: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0011>.
21. Trofymchuk, O., et al. Monitoring of fires and assessment of changes in the state of nature-protected territories of Ukraine as a result of military operations. *22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference 2022*, Vienna, Austria, 6–8 December 2022. 2022. 22.3.2. P. 369–377. URL: <https://doi.org/10.5593/sgem2022v/3.2/s14.43>.

Стаття надійшла до редакції 16.04.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Ahapova Olena Leontiivna – Ph.D. in Geography, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, 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, 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_h_zvit/publicnii-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.lidubgd.edu.ua/bitstream/123456789/11971/1/Збірник%20круглого%20стола.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., 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(1), 4131. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54811-5> [in English].
18. Serhii, A. S., Vyshnevskiy, 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].
19. EFFIS. *The Rapid Damage Assessment (RDA) Module of EFFIS*. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/rapid-damage-assessment> [in English].
20. 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> [in English].
21. Trofymchuk, O., Vishnyakov, V., Sheviakina, N., Klymenko, V., & Slastin, S. (2022). Monitoring of fires and assessment of changes in the state of nature-protected territories of Ukraine as a result of military operations. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 22(3.2), 369-377. <https://doi.org/10.5593/sgem2022V/3.2/s14.43> [in English].

The article was received by the editors 16.04.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024