

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-02
УДК 630*528.8

Анатолій Байназаров*

к. геогр. наук, доцент кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: a.baynazarov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1511-3596>

Владислав Попов*

завідувач навчальної лабораторії геоінформаційних систем та дистанційного зондування Землі;
e-mail: v.popov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5960-631X>

Уляна Вовк*

магістр географії кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: physgeo@karazin.ua

Андрій Пілюгін*

старший викладач кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: a.piliugin@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9144-6379>

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

Динаміка лісових пожеж на території Ізюмського району, викликаних бойовими діями

Метою даної статті є представлення результатів розрахунку кількісних показників (спектральних індексів за різночасовими супутниковими знімками та їх порівняння) з метою оцінки деградації лісів Ізюмського району Харківської області внаслідок пожеж 2022-2023 років.

Основний матеріал. У статті розкривається проблематика використання методів спектральних індексів для детектування лісових загорянь. Одним із специфічних спектральних індексів, що найбільш спеціалізований до поставленої мети, – нормалізований індекс загорянь NBR, що використовує ближній інфрачервоний та короткохвильовий інфрачервоний зони супутникових знімків. Автори в статті представляють результати розрахунку NBR за літні місяці періоду 2021-2023 рр. та їх різницю за методикою dNBR (що є різницею між NBR знімків до пожежі та після неї). Для оцінки ступеня пошкоджень та відновлення насаджень використано класифікацію dNBR USGS. Також висвітлено методику і результати векторизації і підрахунку площ за отриманими таким чином різницевиими зображеннями; кількісні результати оцінки представлено в статті.

Висновки. Проведене дослідження надає кількісну інформацію щодо характеру і ступеня пошкоджень лісів на обраній ділянці за період інтенсивних бойових дій 2022 року. Загальна площа вигорянь складає близько 72% від загальної. Індексні різниці зображення вказують також на часткове відновлення рослинності на території в період 2022-2023 рр. Використана методика хоча й має певні переваги, проте потребує перевірки польовими дослідженнями.

Ключові слова: географія, метод спектральних індексів, лісові пожежі, Ізюмський район.

Як цитувати: Байназаров А., Попов В., Вовк У., Пілюгін А. Динаміка лісових пожеж на території Ізюмського району, викликаних бойовими діями. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 18–24. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-02>

In cites: Bainazarov, A., Popov, V., Vovk, U., Piliugin A. (2024). The dynamics of forest fires caused by war in the territory of Izyum district. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 18–24. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-02> (in Ukrainian)

Вступ. Нищівний характер бойових дій, що відбуваються на території Харківської області, визначає в повній мірі необхідність не лише якісного, але й кількісного аналізу впливу на природне середовище. Попереду велика робота в оцінці й моніторингу змін, що зазнали природні комплекси нашої країни, але вже наразі є доцільним почати шукати відповіді на запитання кількості втрат, зокрема, у лісогосподарських активах. З початку війни майже в усіх лісових насадженнях, що опинилися близько до, або ж у безпосередньому контакті з лінією фронту, за допомогою глобальних моніторингових сервісів (наприклад, Fire Information for Resource Management System, FIRMS) фіксувалося трагічне зростання зафіксованих у інфрачервоному діапазоні спектру локалізованих займань. Але всі наявні відкриті сервіси оперують даними з низькою роздільною здатністю, тому питання кількісної оцінки, скільки саме деревостану було знищено, яка динаміка його загибелі і відновлення, - залишаються в такому випадку без відповіді. Матеріали і методи дистанційного зондування Землі є одними з ефективних підходів (поступаючись у точності традиційним польовим, але переважаючи їх продуктивністю і покриттям), тому представлено дослідження у повній мірі зосереджується саме на них. Наступне питання, що постає, - яку територію обрати для оцінки, який період і частоту аналізу. Автори вважають, що однією з найбільш постраждалих лісових комплексів в Харківській області є насадження в околицях міста Ізюма, включно з територією регіонального ландшафтного парку «Ізюмська Лука». Тож, очевидно, усі спроби оцінки будуть корисні не лише в економічному плані, а й у природоохоронному. Тому для виконання оціночного аналізу було обрано саме цю ділянку Ізюмського району.

В певному сенсі навіть склалася тенденція, що комплексна наукова оцінка змін, які стосуються деревостану і лісової підстилки, формується, значною мірою, для територій природно-заповідного фонду, і менш поширена для лісових комплексів виключно економічного використання. При цьому основним напрямом такого комплексного підходу до оцінки змін лісів є розробка моделей обробки даних ДЗЗ, оскільки використання останніх суттєво спрощує процес оцінки згорілих ділянок та, в ряді випадків, може значно перевищувати за точністю оцінку на місцевості.

Втім, залишається значна кількість саме технічних проблем у підході кількісної оцінки динаміки й наслідків лісових пожеж, деякі з яких висвітлено в цій статті. Доступність даних з високою роздільною здатністю все ще залишається обмеженою, і більшість академічних робіт базується на знімках супутників серії Landsat і Sentinel-2 (що стосується оптичного діапазону), при наявності знімків з вищою роздільною здатністю (Planet). Це визначається більшою мірою методикою і специфікою каналів,

які вона використовує, що також буде розкрито нижче.

Вихідні передумови. Значна кількість робіт у проблематиці визначення пожеж і їх наслідків концентрується навколо дистанційних методів як таких, що надають оперативну інформацію щодо актуальних загорянь. Концентрація уваги робиться саме на локалізації, а ось кількісна оцінка постфактум проводиться рідше.

Після початку російсько-української війни вітчизняні дослідники вже робили спроби оцінки негативного впливу бойових дій за даними дистанційного зондування. Окремо слід виділити роботу Шевчука та інших [1], де автори відзначають, що відкриті дані дистанційного зондування (розглянуто супутники NOAA, Suomi NPP, Aqua і Terra, Sentinel і Landsat, також деякі інші) дозволили встановити велику кількість фактів негативного впливу російсько-української війни на довкілля.

Технологічні засади, на яких засновані практичні підходи визначення й оцінки пожежних явищ, регулярно поповнюються новими принципами. Не дивлячись, що стаття присвячена спектральним характеристикам, слід відмітити, що на поточний момент для поставленої задачі успішно застосовуються і радарні, і лідарні методи. Лідари мають величезну перевагу у точності оцінки негативних результатів пожеж, адже щільність даних набагато перевищує звичну растрову супутникову інформацію і може надавати точні тривимірні дані, що потенційно дозволяє вирішувати набагато ширше коло задач, навіть створювати так звані цифрові двійники за результатами сканування. Але варто підкреслити, що різноманітність існуючих підходів ні в якій мірі не означає їх тотожність з боку економічної складової. Лідари можуть надавати точну інформацію щодо пошкоджень, але складність і собівартість знімання (і обробки також) вища за традиційні звичні підходи.

Автори сподіваються, що в найближчому майбутньому у вітчизняному науковому просторі збільшиться не лише кількість робіт з оцінки негативного впливу війни на природні комплекси країни, але й збільшиться технологічний арсенал досліджень і будуть використані передові знімальні системи.

Метою статті є висвітлення результатів аналізу кількісних показників (спектральних індексів за різночасовими супутниковими знімками та їх порівняння) з метою оцінки деградації лісів Ізюмського району Харківської області внаслідок пожеж 2022-2023 років і процесів їх відновлення. Автори також ставили на меті продемонструвати особливості методики у практичному аспекті щодо виконаних робіт.

Виклад основного матеріалу дослідження. Першим важливим етапом дослідження був пошук спектрального індексу, навколо якого буде організовуватися аналіз конкретних зображень. Існує

велика кількість спектральних індексів (понад декілька сотень – і зростає), основою розробки яких є, здебільшого, емпіричний пошук декількох діапазонів довжин хвиль, де спостерігається протилежна поведінка досліджуваного явища. Найпростіший приклад – типові вегетаційні індекси, де використовується властивість хлорофілу у здоровому листі відбивати значну кількість ближнього інфрачервоного випромінювання з, навпроти, незначною кількістю випромінювання червоного спектру. При розкладанні хлорофілу спостерігається, відповідно, протилежна ситуація зі збільшенням відбиття червоної складової і зменшенням інфрачервоної. Типові вегетаційні можна використовувати і для оцінки пожежних явищ, звісно, але вони не враховують специфіки, що при пожежі наявний складніший комплекс явищ, які доцільно враховувати, зокрема параметри вмісту вологості в рослині.

Для врахування особливостей спектральної поведінки насаджень до/під час/після пожежі доцільно використовувати так званий нормалізований коефіцієнт загорянь (Normalized Burn Ratio, надалі - NBR) [2], що орієнтований саме на визначення зміни параметрів комплексів внаслідок пожежних явищ. NBR в якості вхідних даних використовує ближній інфрачервоний та короткохвильовий інфрачервоний і виражається як нормалізована різниця другого та першого. Цей факт впливає також на те, що NBR менш залежний від стану атмосфери, ніж видимий спектр, але залежність все ще суттєва, тому стан атмосфери при відборі зображень треба враховувати.

Другий етап – визначитися з джерелом даних для аналізу, і тут, власне, була обмежена кількість варіантів. Внаслідок використання NBR, що передбачає наявність короткохвильового інфрачервоного каналу (SWIR) в зображенні сцени, знімки системи Planet Dove та Planet SuperDove, які мають найвищу серед безкоштовно доступних академічній спільноті просторову роздільну здатність (приблизно 3 метри/піксель), не підходили для виконання поставлених задач, адже не мали SWIR-каналу. Тому було обрано знімки системи Sentinel-2, що виправдано з декількох позицій. По-перше, Sentinel-2 має усі необхідні канали для побудови індексу NBR, по-друге, зображення доступні у продукті з атмосферною корекцією – тобто, значення пікселів вже приведено до відбиття на рівні поверхні, що надважливо для точної кількісної оцінки. Знімки Sentinel-2 мають просторову роздільну здатність для вказаних каналів 20 метрів. Звичайно, бажано застосовувати дані з вищою просторовою деталізацією, але для розуміння загальних тенденцій на території вказаної роздільної здатності цілком достатньо.

Кінцева формула (подібна до широко поширеної формули індексу NDVI) нормалізованого коефіцієнта загорянь для даних Sentinel-2 оперує відповідними до вказаних діапазонів каналами ближнього інфрачервоного NIR (B8A) і короткохвильового

інфрачервоного SWIR (B12) [3]. Інтерпретація буде полягати в тому, що високі значення зазначеного індексу будуть вказувати на рослинність без загорянь, і навпаки – низьким значенням NBR будуть відповідати нещодавно вигорілі ділянки і високий відгук ґрунту.

$$NBR = \frac{B12 - B8A}{B12 + B8A}$$

Третім етапом важливим етапом було визначення методики, за допомогою якої можна коректним чином порівняти різночасові індексні зображення і правильним чином інтерпретувати результат. Вибір було зупинений на різниці індексів dNBR, що є різницею індексу загорянь до пожежі та після пожежі. Цей принцип різниці індексів вперше було викладено в роботі [4], де автори зробили спробу оцінити нормалізований dNBR (що розраховували за даними дистанційного зондування Landsat) з композитним індексом CBI (Composite Burn Index), який розраховували за польовими даними.

$$dNBR = NBR_{\text{до загорянь}} - NBR_{\text{після загорянь}}$$

З використанням зазначеної формули можна отримати деякі сталі значення зміни спектральних характеристик реального світу, що можна застосовувати для оцінки динаміки пошкоджень і відновлення комплексу після пожежі. Фактично, різниця індексів dNBR стала певним стандартизованим підходом до визначення ступня і характеру змін лісових комплексів внаслідок загорянь [5]. Визначено, що dNBR, в основному, знаходиться у межах діапазону значень від -2 до +2, а значно пошкодженим пожежами територіям відповідають високі додатні значення різниці індексів. В цій роботі автори використали класифікацію і кольорову диференціацію, що запропонована Геологічною службою США [5] (рис. 1).

Безпосередньо роботи з растрової математики виконувалися в програмному забезпеченні ESRI ArcGIS Pro, де налаштування розрахунку індексних зображень реалізовані у більш зручному та інтуїтивному вигляді, у порівнянні з попереднім поколінням пакету. Технічно процес побудови індексних зображень був заснований на викладеній вище методиці. Спершу будувалися індексні растри NBR за вхідними знімками по літнім місяцям активної вегетації (червня, липня і серпня), за три роки, з 2021 по 2023 рік. За 2021 рік отримувалися, в певному значенні, еталонні дані, що надалі мали порівнюватися з даними 2022 року, з нищівними наслідками фронту для ділянки дослідження. Таким чином, у подальшому саме порівнянням місяців різних років періоду і можна встановити різницю індексів та інтерпретувати її.

В цій статті не наводяться індексні зображення NBR, і для адекватного обсягу матеріалу, і також враховуючи їх проміжну роль в дослідженні.

Результати ж побудови різницевих індексних показників dNBR за серпень (обрано для демонстрації в публікації як репрезентативний) в прийнятих умовних одиницях за класифікацією представлений нижче (рис. 2).

При аналізі усіх отриманих пар різницевих зображень dNBR за період 2021-2023 років, можна встановити, що найбільше значення цього показника варіюється в діапазоні від 0,270 до 1,3 одиниць. Ці показники характерні для ділянок, що зазнали, за класифікатором, «помірно-низького»,

«середньо-високого» й «високого рівнів» згорянь. Жовтим кольором, у свою чергу, на різницевих зображеннях показано низький рівень із консолідацією значень від 0,100 до 0,269 одиниць. Слід відмітити, що градаціями зеленого кольору позначено території, які не характеризуються пожежами, а навпаки – процесами відновлення. Що й зустрічається для території дослідження за даними 2023 року, адже найнижчі значення dNBR діапазоном від 0,99 до -0,500 одиниць, характерні саме для ділянок, що демонструють низький та високий

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10^3)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Рис. 1. Характеристика ступенів пошкодження/відновлення, за dNBR (Геологічна служба США) [5] /
Fig. 1. Characterization of the degrees of damage/recovery, according to dNBR (US Geological Survey) [5]

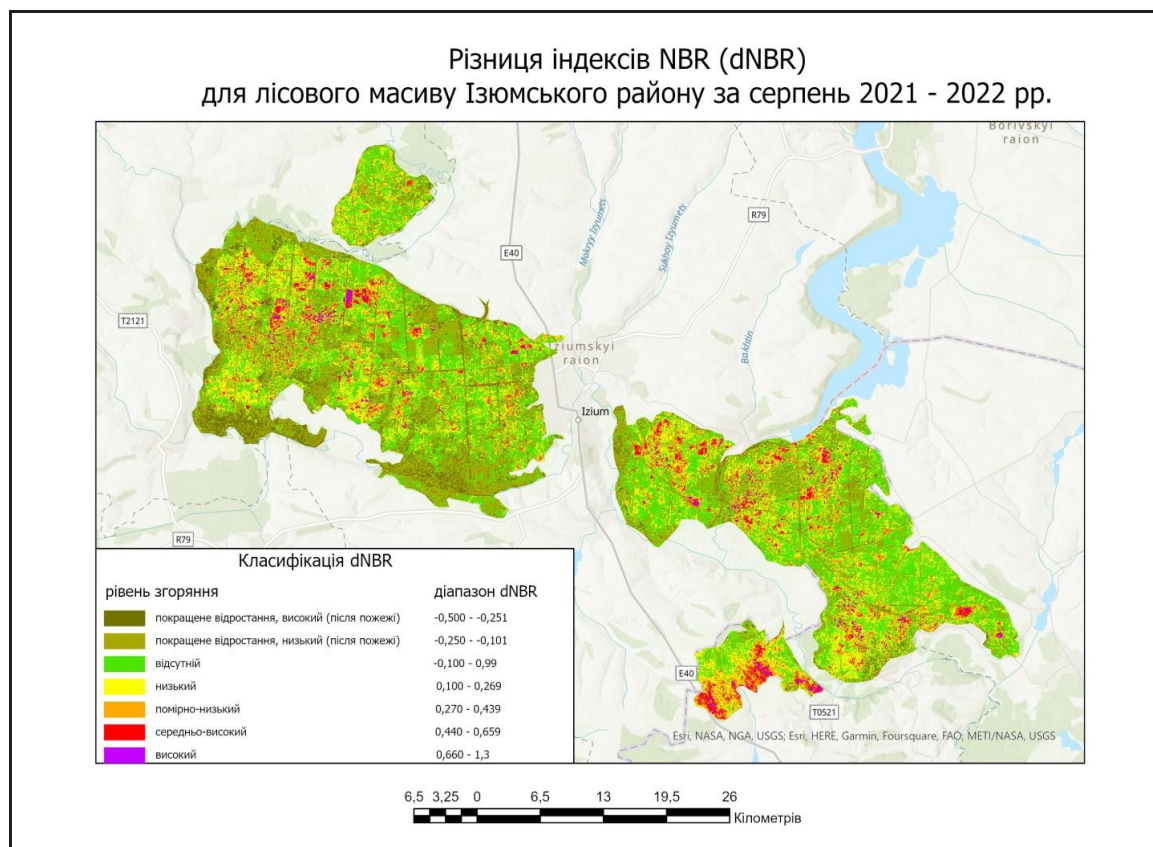


Рис. 2. Ступені загорянь за dNBR на території дослідження, серпень 2021 – серпень 2022 /
Fig. 2. Degrees of fires according to dNBR in the study area, August 2021 - August 2022

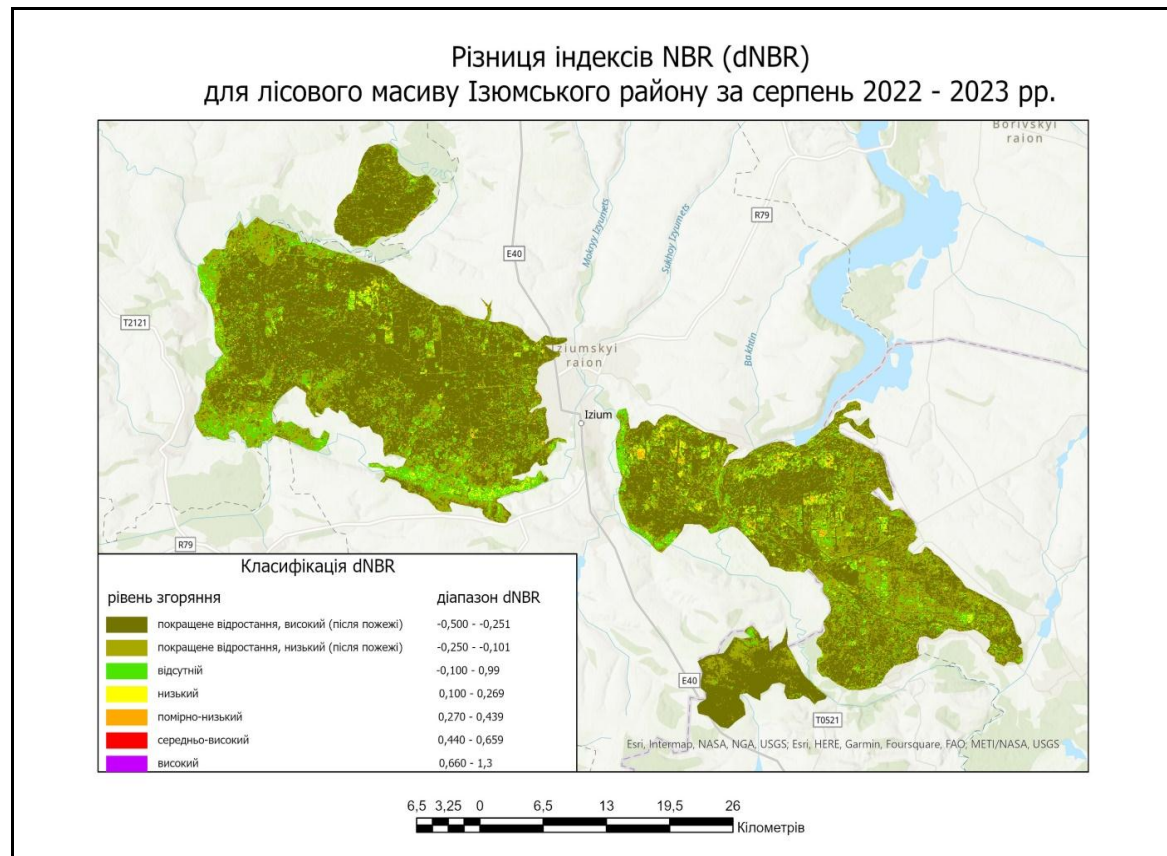


Рис. 3. Ступені загорянь за dNBR на території дослідження, серпень 2022 – серпень 2023 /
Fig. 3. Degrees of fires according to dNBR in the study area, August 2022 – August 2023

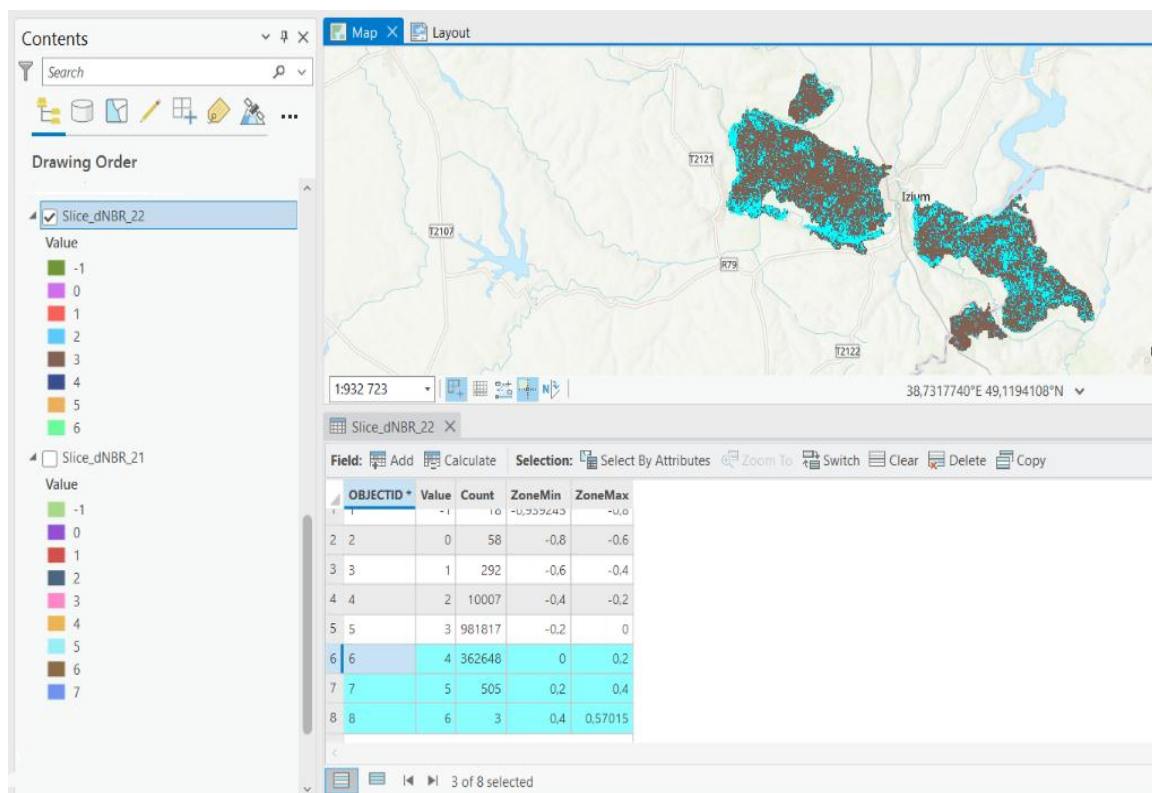


Рис. 4. Поділ індексного зображення dNBR на класи з кроком 0,2 /
Fig. 4. Division of the dNBR index image into classes with a step of 0,2

ступінь відновлення після пожежі за обраною класифікацією (рис. 3).

З отриманих результатів цілком очевидно, що найтяжчі наслідки на території дослідження очікувано стосуються періоду проходження цим регіоном лінії фронту з інтенсивними бойовими діями, тому спостерігається значне підвищення індексу dNBR, внаслідок значних пожеж. Але в 2023 році, з відходом лінії фронту на схід, спостерігається, переважно, протилежний процес – заростання (вірогідно, трав'янистою рослинністю) на пошкоджених ділянках.

Четвертим і заключним етапом дослідження був підрахунок площ, що зазнали тієї, чи іншої динамічної зміни за період. Методика визначення площі території, де мало місце загоряння, полягала у так званій процедурі «слайсингу» зображення. За допомогою інструменту «Slice» ArcGIS Pro безперервну множину зображення було розділено на окремі класифікаційні одиниці з кроком 0.2, що надало можливість відділити значення, які визначені за прийнятою шкалою як вигорілі із високим, середньо-високим і середньо-низьким ступенем пошкодження. Далі різні підкласи об'єднувалися в один, для зручності векторизації та розрахунку площі (рис. 4).

Після операції «слайсингу» і об'єднання необхідних підкласів, група пікселів, що ототожнюється з класом загорянь була векторизована у полігони з використанням інструменту «Raster to polygon». Після злиття усіх полігонів у єдиний шар стало можливим автоматично визначити загальну площу у необхідній одиниці виміру, було обрано гектари.

За результатами проведення вказаних операцій було отримано кількісну оцінку динаміки вигорянь, яку зведено в таблиці 1.

Таблиця 1 / Table 1

Розраховані площі згорілих ділянок
Calculated areas of burned areas

Місяць	Площа вигорянь, тис. га		Сума	% від загальної площі (54234,96 тис. га.)
	2021-2022 рр.	2022-2023 рр.	2021-2023 рр.	2021-2023 рр.
Червень	34945,99	732,70	35678,69	65,78
Липень	1273,22	442,24	1715,46	3,16
Серпень	2613,28	16,51	2629,79	4,84
Сума	38832,49	1191,45	40023,94	73,78

Висновки. Потрібно зазначити, що не дивлячись на репрезентативність території та, в цілому, отриманих результатів, говорити про остаточне підтвердження ефективності обраної методики можна лише з перевіркою результатів в ході польових спостережень. Втім, одержані результати дослідження можуть використовуватися в майбутньому для задач моделювання пожеж, а також обґрунтування заходів із ефективного подолання негативних наслідків. Історична інформація пожежі, їх просторовий і часовий розподіл відіграє важливу роль у моделюванні можливих ризиків.

Розраховані в дослідженні моделі спектральних індексів NBR та їх різниці dNBR дали змогу спробі комплексної часової оцінки зміни стану лісових насаджень району, погіршений стан яких впливає на природний баланс та, за викладеними в статті підрахунками, призвів до втрати великої частини лісового фонду району.

Динаміку лісових пожеж, спричинених веденням активних бойових дій на території дослідження можна підсумувати наступним чином: найбільші вигорання мали місце саме в 2022 році (що і показують dNBR різниці між 2021-м і 2022-м роком) і становить 38832,49 тис. га. за площею, що складає 72% від загальної території, тобто пошкоджень зазнали три четверті від вказаної ділянки. Ці значення являються показником драматичного занепаду екосистеми району і становлення екологічної катастрофи, що спричинена періодом окупації та веденням інтенсивних бойових дій.

В той же час, показники dNBR, що було розраховано на 2022-2023 роки, демонструють певне вирівнювання загальної ситуації, адже площа ділянок, що визначені як «згорілі» скоротилася до 1191,45 тис. га. Це явище пояснюється тим фактом, що лінія фронту дещо відсунулася від досліджуваної території за рахунок звільнення м. Ізюм. Як наслідок, територія перестала зазнавати на цей момент такого нищівного антропогенного впливу. Можна зробити обережний висновок, що Ізюмський лісовий масив почав, в певній мірі за рахунок процесу сукцесії, відновлюватися природним шляхом.

Наостанок, доцільно підкреслити, що це дослідження є доволі ранньою оцінкою висвітлених процесів, а тому має деякі цілком зрозумілі перспективи на майбутнє, головною і необхідною з яких є зіставлення результатів з польовими дослідженнями. Крім того, автори вважають, що окремою перспективою є спроба оцінки цієї території за зазначені періоди з використанням радарних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Shevchuk S., Vyshnevskiy V., Bilous O. 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. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017>
2. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product / L. Giglio et al. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 217. P. 72–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>

3. García M. J. L., Caselles V. Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. *Geocarto International*. 1991. Vol. 6, No 1. P. 31–37.

4. The normalized burn ratio and relationships to burn severity: ecology, remote sensing and implementation / C. Key et al.; ed. J. D. Greer. Proceedings of the Ninth Forest Service remote sensing applications conference (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, San Diego, CA, 8 – 12 April, 2002). Bethesda, MD: Rapid delivery of remote sensing products, 2002.

5. A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula / R. Llorens et al. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2021. Vol. 95, Art. 102243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243>

Стаття надійшла до редакції 06.05.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Bainazarov Anatolii Mykhailovych – 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: a.baynazarov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1511-3596>

Popov Vladyslav Serhiiovych – Head of the GIS and Remote Sensing Laboratory. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: v.popov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5960-631X>

Vovk Uliana Volodymyrivna – Master of Geography, Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: physgeo@karazin.ua

Piliugin Andriy Vasylovych – Senior Lecturer of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: a.piliugin@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9144-6379>

THE DYNAMICS OF FOREST FIRES CAUSED BY WAR IN THE TERRITORY OF IZYUM DISTRICT

The purpose of this article is to present the results of the analysis of quantitative indicators (spectral indices satellite images and their comparison) with the aim to assess the degradation of forests in the Izyum district of the Kharkiv region (which was a result of the fires of 2022-2023).

Basic material. The article reveals the problems of using spectral index methods for detecting forest fires. One of the specific spectral indices, which is the most specialized to the set goal, is the normalized burn ratio NBR, which uses the near-infrared and short-wave infrared zones of satellite images. In the article, the authors present the results of NBR calculation from the summer months of 2021-2023 and their difference according to the dNBR method (which is the difference between the NBR data before and after the fire). The USGS dNBR classification was used to assess the degree of damage and restoration of the forest. The methodology and results of vectorization and calculation of areas using the difference obtained index images are also highlighted, quantitative evaluation results are presented in the article.

Conclusions. The conducted research provides quantitative information on the nature and degree of damage to forests in the selected area during the period of intensive hostilities in 2022. The dynamics of burns is about 72% of the total territory. Index difference images also show partial restoration of vegetation on the territory in the period 2022-2023. Although the used technique has certain advantages, it needs to be verified by field studies.

Keywords: *geography, method of spectral indices, forest fires, Izyum district.*

REFERENCES:

1. Shevchuk, S., Vyshnevskiy, V., Bilous, O. (2022). The use of remote sensing data for investigation of environmental consequences of Russia-Ukraine war. *Journal of Landscape Ecology*, 15(3), 36–53. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017> [in English].
2. Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L., Justice, C.O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. In *Remote Sensing of Environment*, 217, 72–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005> [in English].
3. García, M. J. L., Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. In *Geocarto International*, 6, 1, 31–37. Informa UK Limited. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049109354290> [in English].
4. Key, C. H., Benson, N., Ohlen, D., Howard, S., McKinley, R., Zhu, Z. (2002). The normalized burn ratio and relationships to burn severity: ecology, remote sensing and implementation. In: *Proceedings of the Ninth Forest Service remote sensing applications conference* (ed. J. D. Greer; American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, April 8–12, 2002, San Diego, USA [CD-ROM]). Bethesda, MD, Rapid delivery of remote sensing products (1 CD-ROM: 4 ¾) [in English].
5. Llorens, R., Sobrino, J.A., Fernández, C., Fernández-Alonso, J.M., Vega, J.A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243> [in English].

The article was received by the editors 06.05.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024