

Стан вкритих деревною рослинністю територій Кременської громади Луганської області під час війни: супутниковий аналіз

Сергій Остапчук¹

к. тех. н., доцент, кафедра геодезії та картографії,

¹ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна,
e-mail: s.m.ostapchuk@nuwm.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0002-4493-1144>;

Оксана Остапчук¹

к. тех. н., доцент, кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики,

e-mail: o.p.ostapchuk@nuwm.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-4774-3605>;

Павло Більчук¹

магістр, кафедра геодезії та картографії,

e-mail: 2025geo@ukr.net,  <https://orcid.org/0009-0006-7895-3575>

Внаслідок російської військової агресії докільля зазнає великих руйнувань, серед яких одними з найбільш масштабних є втрати деревної рослинності. Вкриті деревною рослинністю території (ліси, посадки, сади, парки та ін.) мають маскувальні властивості, тому зазнають постійних знищень і пошкоджень внаслідок обстрілів, пожеж, замінувань, руху військової техніки, будівництва фортифікаційних споруд та ін. Для моніторингу та ідентифікації втрат деревної рослинності на території найбільш залісненої у Луганській області Кременської територіальної громади, де впродовж довгого часу відбувалися і наразі проходять бойові дії, використано безкоштовні супутникові знімки Sentinel-2 2019-2024 рр. та програмне забезпечення QGIS. За розглянутою методикою із використанням індексу вологості *NDMI* створено відповідні растрові зображення, які містили тільки пікселі, що відносилися до дерев: здорових, сухих та пошкоджених. На основі отриманих матеріалів знайдено площі деревовкритих територій Кременської громади для вказаних 3 класів дерев станом на червень-липень кожного року із зазначеного періоду моніторингу. На представлених зображеннях усі ділянки із здоровими, сухими та пошкодженими деревами добре ідентифікуються. Встановлено, що впродовж 2019-2024 рр. загальна площа деревовкритих територій громади зменшилася з 30359,5 га до 28636,8 га. Особливо важкі втрати виявлено з початку повномасштабної російської військової агресії: загальна площа вкритих деревною рослинністю територій зменшилася на 1886,5 га. При цьому площа територій із здоровими деревами скоротилася на 6932,5 га, площа із пошкодженими деревами збільшилася на 6792,4 га, а площа із сухими зменшилася на 1747,1 га за рахунок масштабних пожеж, які там відбувалися. Зазначено, що розглянута методика дозволяє оперативно встановлювати стан вкритих деревною рослинністю територій і створювати плани по їх відновленню. Виконані дослідження можуть бути корисними для органів влади різних рівнів, територіальних громад, окремих відомств, підприємств, установ, на землях яких відбувалися чи наразі проходять бойові дії під час російсько-української війни.

Ключові слова: моніторинг, деревна рослинність, бойові дії, супутникові знімки, індекси, класифікація зображень, площа, Кременська громада.

Як цитувати: Остапчук Сергій, Остапчук Оксана, Більчук Павло (2025). Стан вкритих деревною рослинністю територій Кременської громади Луганської області під час війни: супутниковий аналіз. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (63), 332-348. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-63-25>

In cites: Ostapchuk Serhii, Ostapchuk Oksana, Bilchuk Pavlo (2025). The state of tree-covered territories of Kreminna community in Luhansk region during the war: satellite analysis. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, (63), 332-348. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-63-25> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Загальновідомо, що деревна рослинність є невід'ємною складовою екосистеми і її пошкодження чи втрата несе за собою відповідні негативні наслідки (розвиток ерозії ґрунтів, посух, піщаних бур, деградація ландшафтів, втрата цінних біоценозів, погіршення стану атмосферного повітря, здоров'я людей та ін.).

Наразі дана тематика особливо актуальною є для території України, насамперед для минулих і теперішніх зон бойового зіткнення з російськими агресорами, де деревна рослинність (ліси, посадки, сади та ін.) зазнала і зазнає великих втрат. Вкриті деревною рослинністю території мають природні маскувальні властивості, тому опинилися під активним прямим чи опосередко-

ваним впливом бойових дій: авіаційних бомбардувань, ракетних, артилерійських та мінометних обстрілів, прильотів БПЛА, обстрілів зі стрілецької зброї, руху важкої бойової техніки, мінування, вирубування деревини з метою створення позицій, обігріву тощо. Виникаючі в таких умовах ризики призвели до зрозумілого припинення будь-яких лісогосподарських, лісокультурних, природоохоронних та інших заходів у цих небезпечних районах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Різноманітні питання, пов'язані із дослідженнями впливу військових дій на довкілля є складним і масштабним завданням, тому їх вивченню присвячена чимала кількість наукових публікацій з аналізом відповідних ситуацій та методологій

оцінювання [1-9].

На основі аналізу, узагальнення та систематизації різного роду інформації науковцями наголошується, що військові дії спричиняють цілу низку негативних факторів, які завдають шкоди лісовим екосистемам через вибухи, пожежі, будівництво фортифікаційних споруд, переміщення важкої техніки, забруднення її уламками, різного роду боеприпасами, побутовими відходами та ін. Вплив російсько-української війни на ліси є багатограним, і спеціалістам ще належить дати оцінку всіх його аспектів, підрахувати обсяг завданої шкоди для подальших робіт по їх відновленню [10, 11].

На основі наявних матеріалів 2014-2022 рр. щодо забруднення лісів тимчасово окупованої території України вибухонебезпечними предметами, а також замінованих ділянок лісів вздовж лінії розмежування, здійснено аналітичний огляд досвіду картографування лісів у зонах бойових дій та оцінки їх пошкоджень за даними ДЗЗ, пропонуються загально-методичні підходи до розв'язання цієї проблеми. Наводяться пропозиції стосовно трансформації ведення лісового господарства та рекомендації з удосконалення його нормативно-правового регулювання. Зазначено, що представлені матеріали корисні для органів виконавчої влади різних рівнів, територіальних громад, передусім з метою підвищення безпеки місцевого населення, а також для менеджерів лісової галузі з метою прийняття належних управлінських рішень [12].

Виконуються дослідження по вивченню зміни характеристик ґрунтового покриву лісових масивів, які зазнали впливу військових дій (наприкладі 15 пожеж на території Бехівського лісництва Коростенського лісомисливського господарства у Житомирській області). Зафіксовано підвищений рівень рН до нижніх горизонтів на мікропідвищеннях (7,55) та мікропониженнях (7,35), збільшення вмісту органічного вуглецю у верхньому гумусовому горизонті (0,42% на мікропідвищеннях і 0,46% на мікропониженнях). Наведені результати можуть бути використані для розробки відповідних екологічних програм з метою відновлення пошкоджених пожежами лісів [13].

Проведена оцінка викидів вуглецю, спричинена внаслідок військової російської агресії ландшафтними пожежами в Україні. Для виявлення пожеж застосовано технологію моніторингу лісових пожеж OrosaTech, межі охоплених вогнем ділянок визначено за допомогою відповідних часових рядів супутникових знімків Sentinel-2, для розподілу горілих площ використано карту Copernicus Dynamic Land Cover. Самі викиди вуглецю було розраховано за даними

інтенсивності ландшафтних пожеж (dNBR) та частки спаленої біомаси. Сумарні викиди CO₂ становили 5,20 млн т, інших парникових газів – 0,28 млн т. Це перше відоме детальне картографування ландшафтних пожеж в Україні упродовж 2022 р. з виконаним аналізом кожного полігону [14].

Проаналізовано токсичний вплив пожеж, які відбулися в результаті повномасштабного вторгнення окупаційних військ в Україну, на екосистеми та життєдіяльність населення. Особливо наголошується на несприятливій дії на людський організм продуктів горіння рослинного біоматеріалу лісів [15].

У публікаціях зазначається, що для виконання досліджень можна використовувати оптичні спектральні, лідарні, радарні зображення. Широке визнання отримало використання оптичних зображень з розрахунком спектральних індексів, як цінних інструментів для ідентифікації об'єктів та покращення їх видимості на цифрових зображеннях ДЗЗ [16, 17]. Дослідження здійснюють з використанням багатозональних супутникових даних Landsat-8, 9, Sentinel-2, 3. Через неможливість виконання додаткових польових досліджень для уточнення даних щодо площ верхових лісових пожеж використовують лідарний сканер. Так, за період з березня по квітень 2022 р. у межах Київського Полісся зафіксовано збільшення частки верхових лісових пожеж до 9,5% від загальної площі пожеж [18]. Відомі дослідження із застосуванням супутникових радарних зображень високого розрізнення з метою моніторингу лісових насаджень. При цьому кількісну характеристику рослинності отримано за допомогою розрахунку індексу NDVI [19].

Виконується обґрунтування вибору даних ДЗЗ для моніторингу стану деревної рослинності [12]. При цьому звертається увага, що використання даних знімання в оптичному діапазоні, окрім своїх переваг в ідентифікації рослинності, містить недоліки стосовно ефективності в умовах хмарності чи пожеж. Радарні системи володіють потенційними перевагами для визначення структурних змін лісового покриву. Але доступність до найбільш ефективних сенсорів, що працюють в L-діапазоні (довжина хвилі 15-20 см) є обмеженою. Технологія лідарного знімання, враховуючи її вартість, обмежене покриття та недоступність для районів бойових дій, наразі в Україні є недоцільною.

Досвід управління лісами у країнах Азії, Африки, Європи, Північної та Південної Америки, де у різні роки відбувалися війни і збройні конфлікти, також висвітлено у численних публікаціях. Зазначено, що прямими чинниками нега-

тивного впливу на ліси та інші природні екосистеми є бомбардування, умисні підпали, мінування, наявність нерозірваних боєприпасів, що призводить до забруднення довкілля, знищення наявних ресурсів тощо [20-23].

Наочними ілюстраціями безпосереднього впливу бойових дій на ліси є їх випалювання з метою знищення позицій супротивника. Так, під час Першої світової війни з метою очищення схованок місцевих бійців опору турецька армія знищувала вогнем лісовкриті території в горах Родопи в Болгарії, а під час Другої світової війни практикувалися підпали внутрішніх лісів ворогуючої сторони з метою відволікання його уваги від військових операцій [24]. Більш свіжими прикладами подібних дій стали випалювання та вирубування лісів з метою знищення сховищ повстанців у Туреччині, Республіці Конго [25-27].

Під час збройних конфліктів між Афганістаном і Пакистаном, Ізраїлем і Ліваном, у Грузії внаслідок авіанальотів і ракетних атак виникали численні лісові пожежі [24, 28].

Опосередкований вплив військових дій на ліси може бути викликаний і вимушеним переселенням мирних мешканців через збільшення обсягів використання лісових ресурсів. Наприклад, активне використання лісу вимушеними переселенцями в якості палива та прихистку відзначено у Боснії і Герцеговині, Судані, Руанді, Конго, Нікарагуа, Колумбії [26-30].

Досить нагальною є проблема наземних мін та вибухонебезпечних предметів (авіаційних бомб, ракет, артилерійських снарядів, ручних гранат та ін.) у теперішніх та колишніх зонах бойових дій. Це викликає відповідну міжнародну увагу, в тому числі й ООН. Згідно з наведеними оцінками, у різних країнах світу наразі нараховується понад 110 млн активних мін і їх кількість щорічно зростає. Найбільш забрудненими у цьому відношенні країнами є Ангола, Єгипет, Іран, Ірак, Афганістан, Китай, Камбоджа, Боснія і Герцеговина, Хорватія, Україна [12, 24, 31-34]. Зазначається, що у В'єтнамі вибухонебезпечні предмети, які залишилися внаслідок війни 1959-1975 рр., навіть через 50 років становлять загрозу і продовжують викликати лісові пожежі. А у Північній Македонії впродовж пожежонебезпечного сезону 2007 р. зафіксовано більше 70 випадків вибухів боєприпасів Першої світової війни (1914-1918 рр.), спричинених лісовими пожежами.

Як свідчить світовий досвід, війни і збройні конфлікти однозначно мають негативний вплив на стан вкритих деревною рослинністю територій. Зважаючи на масштабність і тривалість військових дій (2014-2025 рр.), дане питання для території України набуває особливої гостроти.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На основі наведеного вище очевидно виглядає необхідність розробки і впровадження цілісного та системного підходу до постійного моніторингу шкоди від бойових дій вкритим деревною рослинністю територіям за даними дистанційного зондування Землі.

Матеріали дистанційних знімків, на відміну від наземних, дозволяють регулярно, оперативно і безпечно виконувати обстеження зазначених територій включно й з тими, які знаходяться у зоні бойових дій чи під контролем окупантів, визначати масштаби пошкоджених і знищених площ, що може стати необхідною основою для створення планів по їх відновленню у майбутньому. Адже після звільнення тимчасово окупованих земель потрібно буде приступати до тривалого і важкого процесу регенерації площ з деревною рослинністю з метою збереження цих цінних екосистем.

Метою досліджень є проведення моніторингу та ідентифікація стану вкритих деревною рослинністю територій Кременської територіальної громади Луганської області внаслідок збройної агресії РФ за даними супутникових знімків.

Кременська громада для досліджень вибрана не випадково, оскільки у загальній площі земель (52,85 тис. га) ліси та інші лісовкриті площі є важливим екологічним та економічним ресурсом і становлять близько 58% її території. Це є найвищим показником серед усіх територіальних громад Луганської області. Саме на території цієї громади впродовж тривалого часу відбувалися і проходять наразі одні з найбільш активних бойових дій.

Матеріал і методи досліджень. Для моніторингу деревовкритих площ використано супутникову місію Sentinel-2. Матеріали дистанційних знімків цього сузір'я є безкоштовними, одними з найпоширеніших джерел інформації і заслужено витребувані різними споживачами. Вибір знімків здійснено з дотриманням параметрів хмарності (до 10%), атмосферної та геометричної корекції (Level-2A). У нашому випадку вони забезпечують необхідне розрізнення знімків (10-20 м), а це дозволяє виконувати моніторинг вкритих деревною рослинністю територій, виявляти знищені і пошкоджені ділянки, оцінювати масштаб змін, визначати навіть поодинокі дерева. Знімки вирішено вибрати за 2019-2024 рр. в період червня-липня, коли рослинність перебуває в активній фазі вегетації. Такий підхід видається коректним і логічним, оскільки забезпечує і рівні інтервали в часових проміжках, і охоплює 3 роки до повномасштабного російсько-вотргнення та 3 роки після.

В узагальненому вигляді порядок методики

виконання досліджень можна подати як:

- Завантаження:
 - завантаження векторних даних;
 - завантаження супутникових знімків.
- Підготовка:
 - обрізання знімків за межею цільової області;
 - створення кольорових композитів;
 - розрахунок вегетаційних індексів.
- Класифікація:
 - неконтрольована класифікація;
 - контрольована класифікація.
- Моніторинг:
 - порівняння класифікаційних зображень;
 - фільтрація кластерів та виконання просторової вибірки;
 - аналіз змін.

На першому етапі потрібно завантажити векторні дані, щоб мати змогу у подальшому швидко завантажувати супутникові знімки для виконання подальшої роботи. Завантаження знімків виконано з платформи Copernicus Open Access Hub.

Перейшовши на другий етап, необхідно виконати обрізання усіх завантажених супутникових знімків за межею інтересу. Це дає можливість і зменшити обсяг пам'яті, і пришвидшити подальшу обробку знімків. Після цього слід створити кольорові композити, що дозволить виконувати аналіз земного покриття, класифікувати необхідні об'єкти, відстежувати здійснені зміни. Важливим компонентом для коректної класифікації є розрахунок вегетаційних індексів. Якраз вегетаційні індекси *NDVI* (нормалізований диференційований вегетаційний індекс), що вимірює щільність зеленої маси рослинності, *NDMI* (нормалізований різницевий індекс вологості), що визначає вміст вологості в рослинному покритті та *NBR* (нормалізований індекс вигорання), що виділяє вигорілі ділянки у зоні пожежі, є одними з найпоширеніших і можуть якісно виконувати цю процедуру.

У ході третього етапу потрібно виконати неконтрольовану класифікацію з метою визначення кількості класів, які будуть використані у подальшій контрольованій класифікації знімків. Неконтрольовану класифікацію можна реалізовувати за допомогою алгоритму K-Means (кластеризації k-середніх). За її результатами створюється вибірка для виконання уже контрольованої класифікації, щоб мати можливість коректно класифікувати об'єкти на знімку.

Важливою складовою останнього етапу є порівняння класифікаційних зображень. Воно виконується шляхом віднімання таких зображень. Це дозволяє здійснювати моніторинг деревовкритих територій й визначати площі знищених, сухих та здорових дерев.

Опрацювання знімків проводилося з використанням програми QGIS. Основним інструментом опрацювання супутникових знімків був плагін напівавтоматичної класифікації SCP (Semi-Automatic Classification Plugin).

Застосування розглянутої методики значно полегшує виявлення та моніторинг стану вкритих деревною рослинністю площ на тимчасово окупованих територіях і дозволить оперативно побудувати стратегію їх відновлення.

Виклад основного матеріалу. Для виконання досліджень були взяті супутникові знімки за 03.07.2019, 27.06.2020, 27.07.2021, 07.07.2022, 27.07.2023, 11.06.2024.

Після виконання обрізання за ними були розраховані індекси *NDVI*, *NDMI* та *NBR*. Такий підхід зумовлений тим, що слід підібрати саме той індекс чи індекси, які найкраще відображатимуть ситуацію на знімку, тобто даватимуть змогу ідентифікувати ділянки із здоровими, сухими та пошкодженими деревами. Для цього використано спектральні канали: видимий червоний (для розділення різновидів рослин, при цьому враховується поглинання хлорофілу), ближній інфрачервоний (для визначення кількості вегетаційної біомаси), короткохвильовий інфрачервоний (для визначення вмісту води в рослинності).

Індекс *NDVI* обчислено за формулою:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

де *NIR* – відображення у ближньому інфрачервоному діапазоні спектру (для Sentinel-2 – це канал B8); *RED* – відображення у червоному діапазоні спектру (для Sentinel-2 – це канал B4).

Індекс *NDMI* знайдено як:

$$NDMI = (NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1),$$

де *NIR* – відображення у ближньому інфрачервоному діапазоні спектру (для Sentinel-2 – це канал B8); *SWIR1* – відображення у короткохвильовому інфрачервоному діапазоні спектру (для Sentinel-2 – це канал B11).

Індекс *NBR* розраховано за формулою:

$$NBR = (NIR - SWIR2) / (NIR + SWIR2),$$

де *NIR* – відображення у ближньому інфрачервоному діапазоні спектру (для Sentinel-2 – це канал B8); *SWIR2* – відображення у короткохвильовому інфрачервоному діапазоні спектру (для Sentinel-2 – це канал B12).

Розрахунки індексів *NDVI*, *NDMI* та *NBR* виконувалися в програмі QGIS у калькуляторі растрів. Їх розподіл представлено відповідно на рис. 1, 2 і 3.

При пошкодженні деревної рослинності вона різко втрачає вологу і в'яне, при цьому може

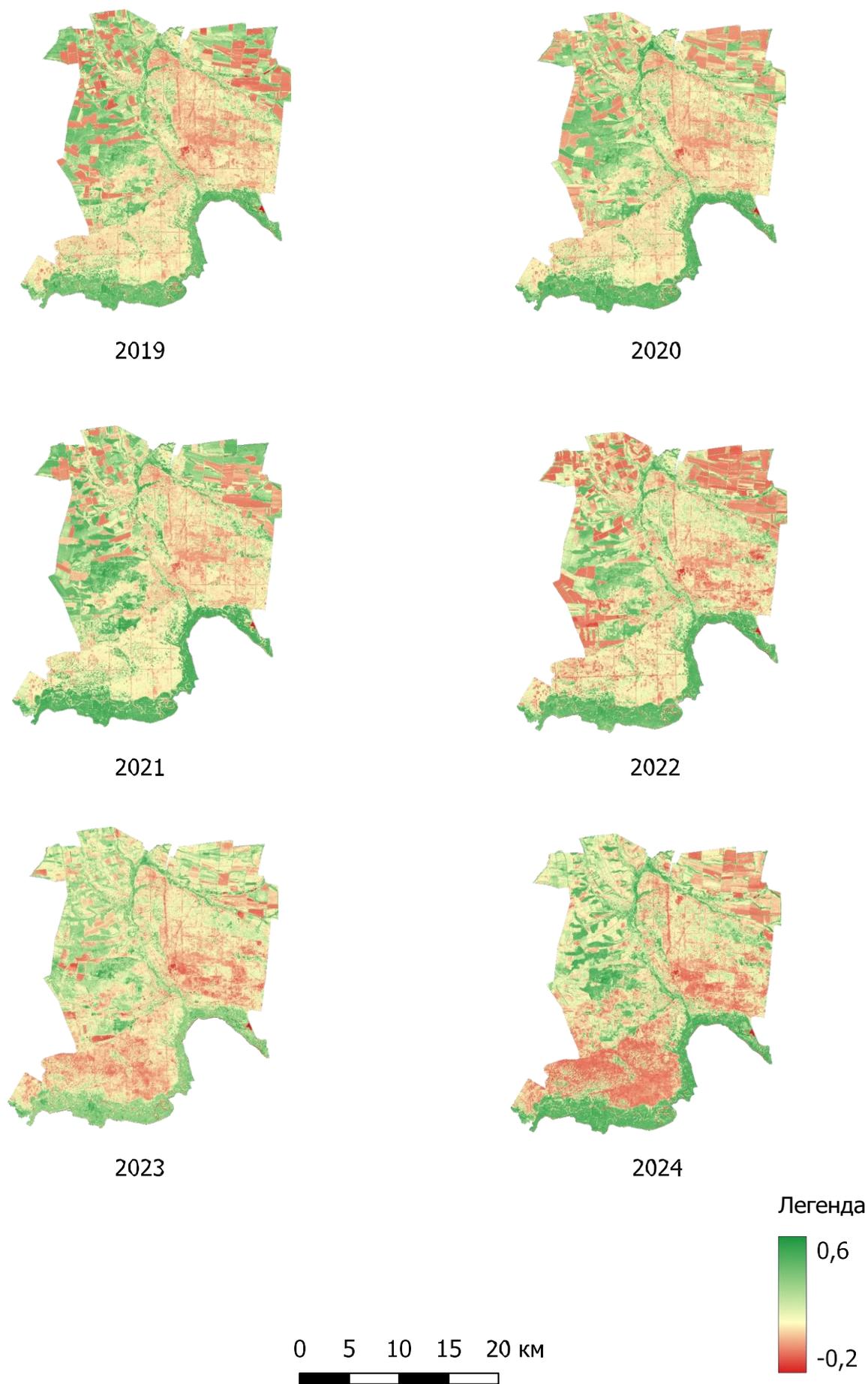


Рис. 1. Розподіл індексу *NDVI* 2019-2024 рр. / Fig. 1. Distribution of the *NDVI* index in 2019-2024

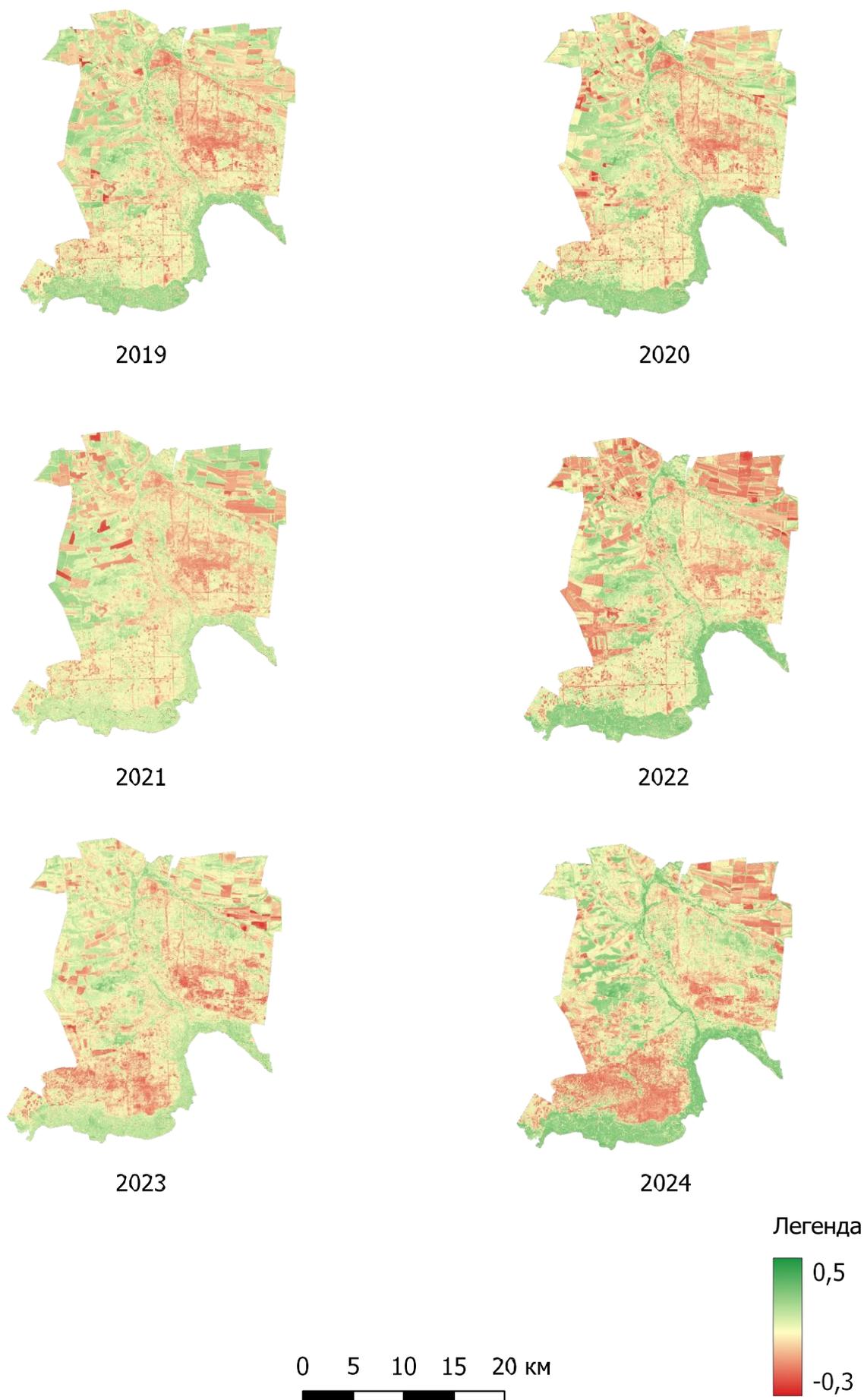


Рис. 2. Розподіл індексу *NDMI* 2019-2024 рр. / Fig. 2. Distribution of the *NDMI* index in 2019-2024

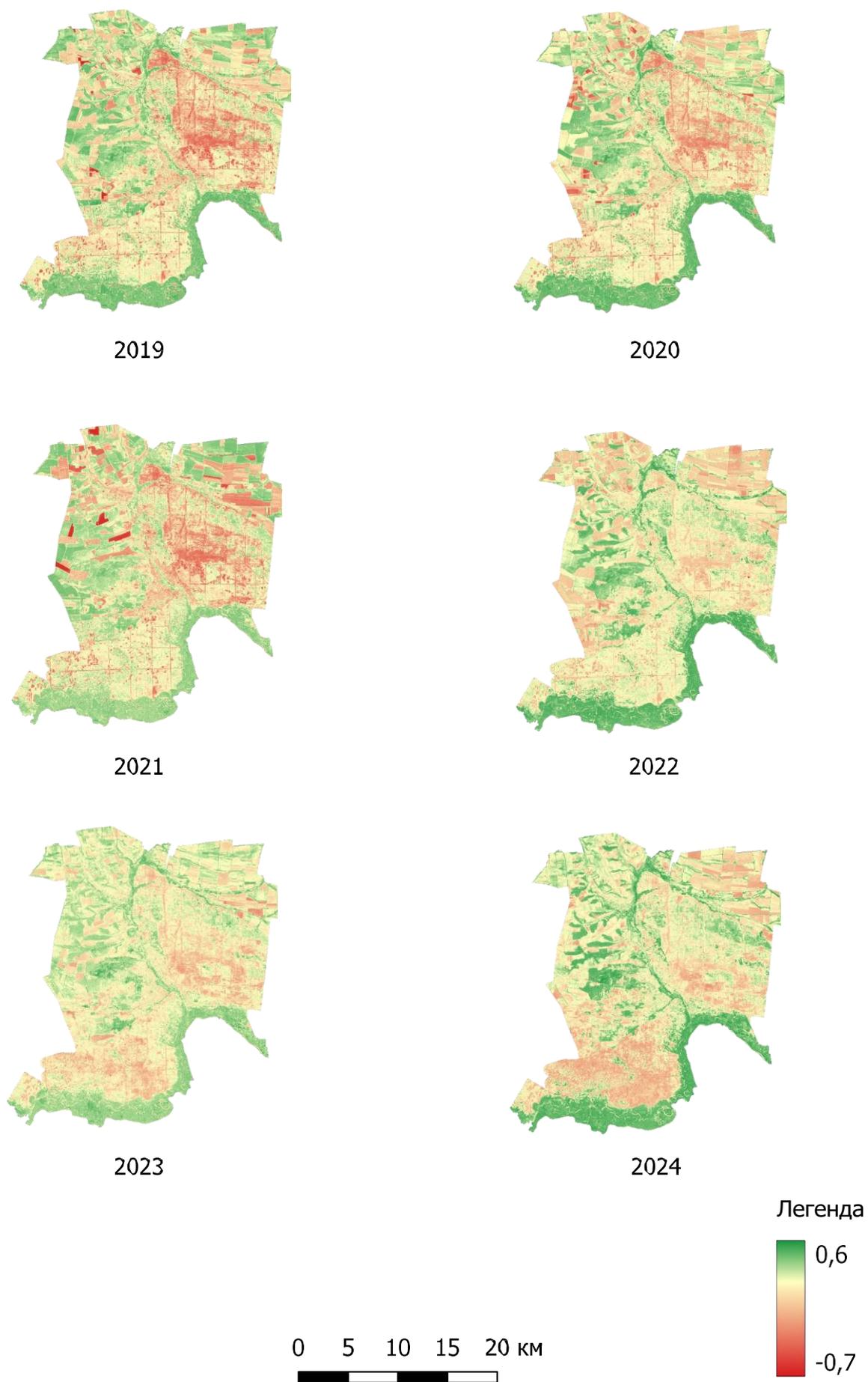


Рис. 3. Розподіл індексу *NBR* 2019-2024 рр. / Fig. 3. Distribution of the *NBR* index in 2019-2024

відбуватися їх повна загибель. Аналізуючи результати розрахунку індексів, для подальшої роботи вирішено використати індекс *NDMI*, тому що він найкраще розділяє ділянки з трав'яною рослинністю, здорові, сухі та пошкоджені дерева.

Як і більшість індексів, *NDMI* має значення від -1 до +1. Про водний стрес свідчать значення, що наближаються до -1, тоді як близькі до +1 вказують на ознаки заболочування. Кожне проміжне значення відображає дещо інший стан рослинності, а саме:

- -1,0 – -0,8 (рослинний покрив відсутній);
- -0,8 – -0,6 (рослинний покрив майже відсутній);
- -0,6 – -0,4 (дуже низька щільність рослинного покриву);
- -0,4 – -0,2 (низька щільність рослинного покриву, волога відсутня або майже відсутня);
- -0,2 – 0,0 (густота рослинного покриву нижче середнього, присутній водний стрес);
- 0,0 – +0,2 (густота рослинного покриву середня, спостерігається водний стрес);
- +0,2 – +0,4 (густота рослинного покриву вище середнього, спостерігається незначний водний стрес);
- +0,4 – +0,6 (густота рослинного покриву висока, водний стрес не спостерігається);
- +0,6 – +0,8 (густота рослинного покриву дуже висока, водний стрес відсутній);
- +0,8 – +1,0 (густий рослинний покрив повністю вкриває територію, водний стрес відсутній).

Важливе місце у дослідженнях відіграє класифікація. Саме вона на основі обумовлених характеристик дозволяє розділити усі об'єкти на окремі категорії. У представленій роботі її завдання полягає у ідентифікації територій з деревами серед інших елементів місцевості, таких як споруди, гідрографія, дорожня мережа, сільськогосподарські угіддя та ін. Поставлене завдання виконано за алгоритмами неконтрольованої і контрольованої класифікацій із використанням плагіна SCP програми QGIS. Класифікаційні алгоритми основані на тому, що кожному об'єкту притаманні характерні особливості відбиття в різних частинах електромагнітного спектру. Багатоканальні знімки фіксують такі особливості, тому їх доцільно використовувати для ідентифікації об'єктів.

Для проведення неконтрольованої класифікації з метою визначення приблизної кількості класів на знімку використано відомий алгоритм кластеризації K-Means, який дає змогу автоматично групувати дані у природні кластери. При

цьому об'єкти будуть віднесені до кластеру тоді, коли знаходяться на мінімальній відстані від його центру.

Неконтрольовану класифікацію виконано для знімка 2019 р., при цьому було задано різну кількість класів (від 5 до 20). Визначено, що орієнтовна чисельність класів на знімку має бути близько 10. Приклад порівняння різної кількості класів за алгоритмом K-Means наведено на рис. 4 і 5.

При виконанні контрольованої класифікації користувачу доводиться встановлювати класи об'єктів вручну, виходячи з їх візуального аналізу чи інших доступних даних. За такого підходу можна задавати чіткі межі для кожного класу, що дає змогу забезпечувати високий рівень точності.

У тестовому режимі контрольовану класифікацію виконано також для знімка 2019 р. Після створення класів навчальної вибірки і бібліотеки спектральних сигнатур з використанням методу «Minimum distance» було отримано результуюче зображення контрольованої класифікації, на якому виділено 9 класів.

Оскільки проведений аналіз виявив на певних лісових площах некоректну класифікацію (пошкоджений і сухий ліс згрупувалися в один клас), то для усунення даної проблеми було використано накладання знімка з розподілом індексу вологості *NDMI* на знімок у видимому діапазоні. Були визначені мінімальні та максимальні значення спектрів у даній групі пікселів, що дало змогу встановити відповідні діапазони:

- для здорових дерев від +0,09 до +0,50;
- для сухих дерев від -0,01 до +0,09;
- для пошкоджених дерев від -0,04 до -0,01.

В результаті подальшої роботи виявлено також, що частина полів та лугів з трав'яною рослинністю була віднесена до класу здорових дерев (значення пікселів потрапили в діапазон виділених значень для класифікації здорових дерев). Для виправлення ситуації було створено шари маски з попередньо завантажених векторних даних (траплялося, дооцифрованих в ручному режимі) та задати усім пікселям, що знаходяться у межах маски, значення NO DATA. До створеної маски було також додано векторні шари споруд, дорожньої мережі та гідрографії. Унаслідок таких дій здорові дерева були ідентифіковані коректно.

У ході виконання подальших процедур, які включали перекласифікацію і об'єднання усіх трьох растрів з деревами, задання кольорової палітри, були отримані наведені на рис. 6 і 7 зображення.

Показані у легендах класи 1, 2 і 8 відповідають за деревовкриті території:

- 1 клас виділяє пікселі, які відносяться до площ із здоровими деревами;

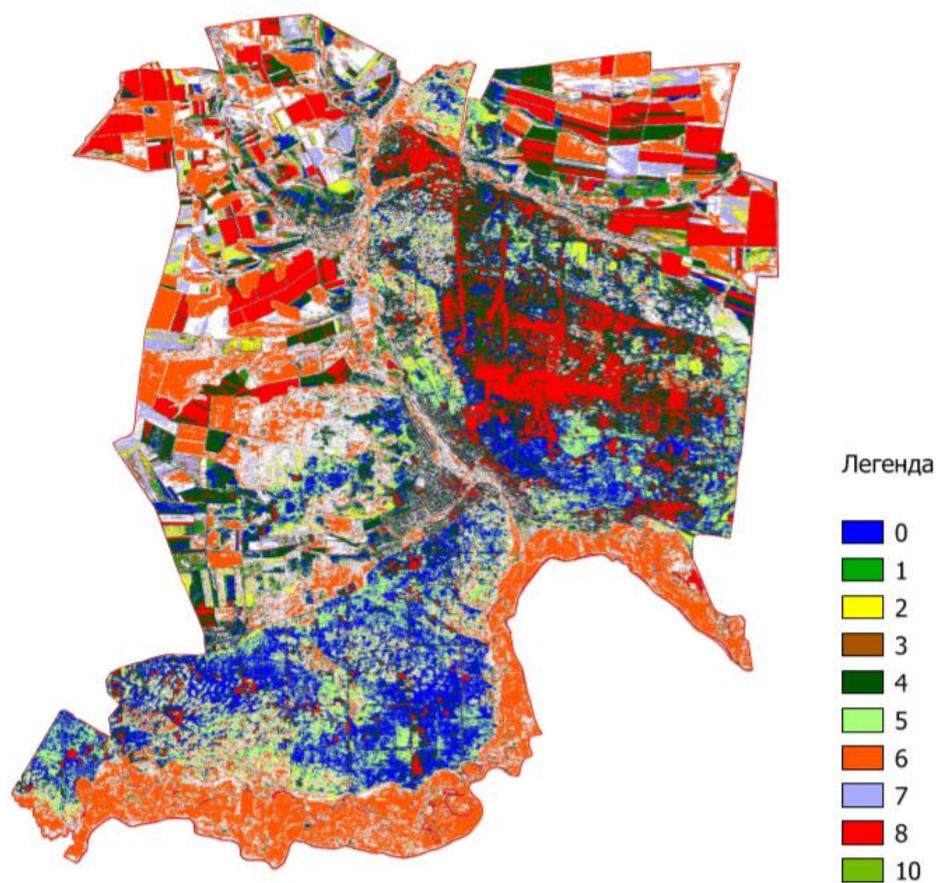


Рис. 4. Неконтрольована класифікація для знімка 2019 р. (11 класів) /
Fig. 4. Unsupervised classification for the 2019 image (11 classes)

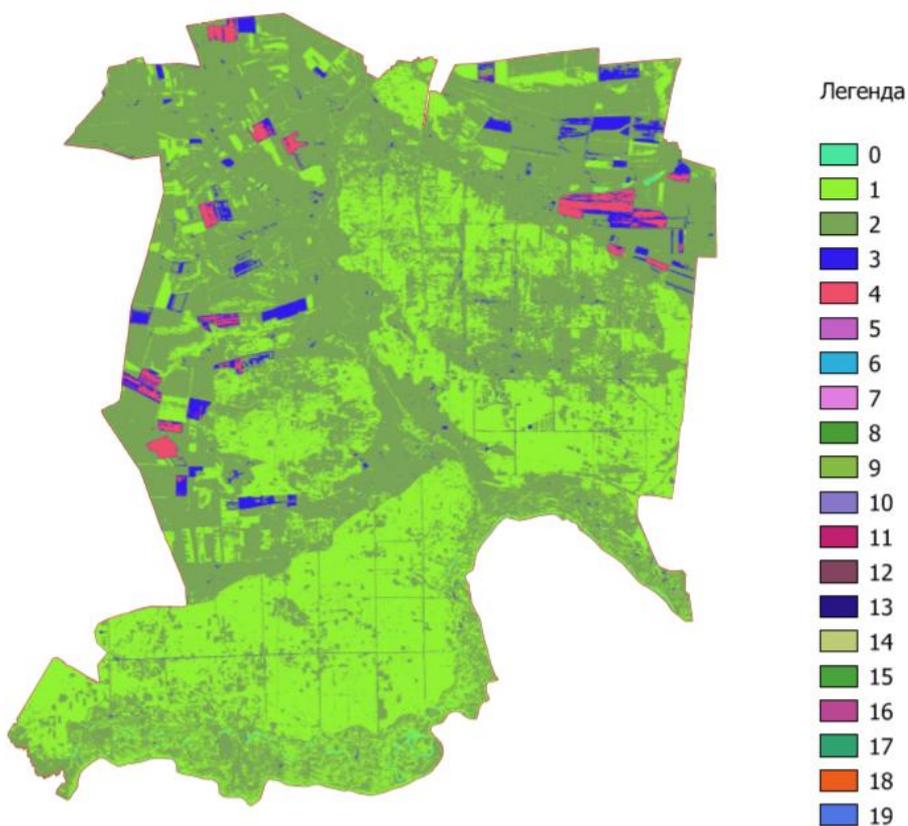


Рис. 5. Неконтрольована класифікація для знімка 2019 р. (20 класів) /
Fig. 5. Unsupervised classification for the 2019 image (20 classes)

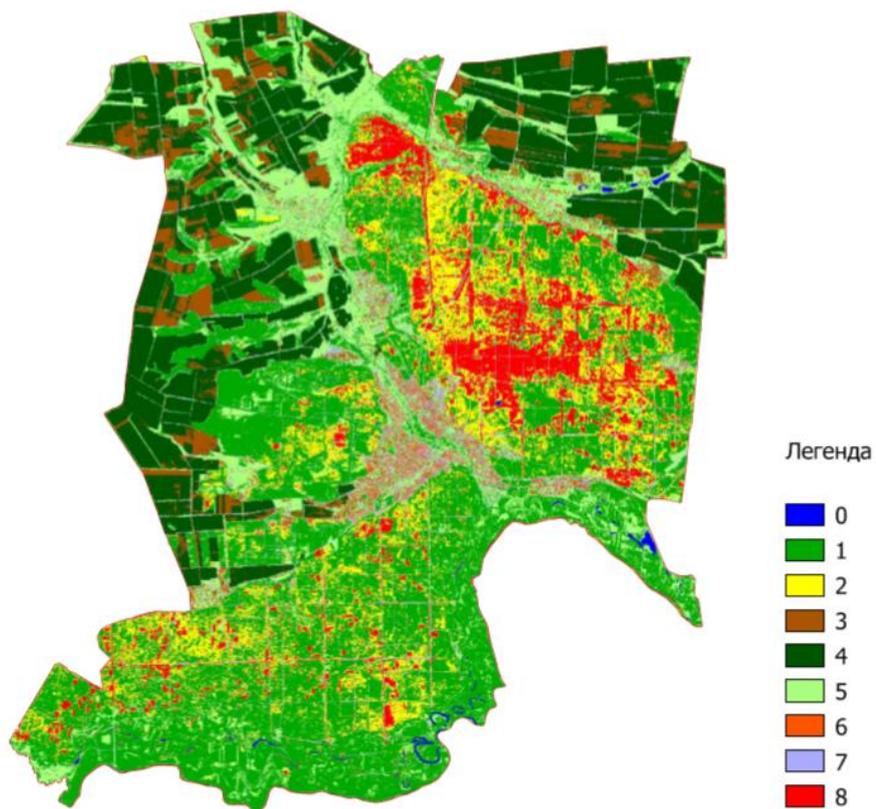


Рис. 6. Контрольована класифікація для знімка 2019 р. (9 класів) /
Fig. 6. Supervised classification for the 2019 image (9 classes)

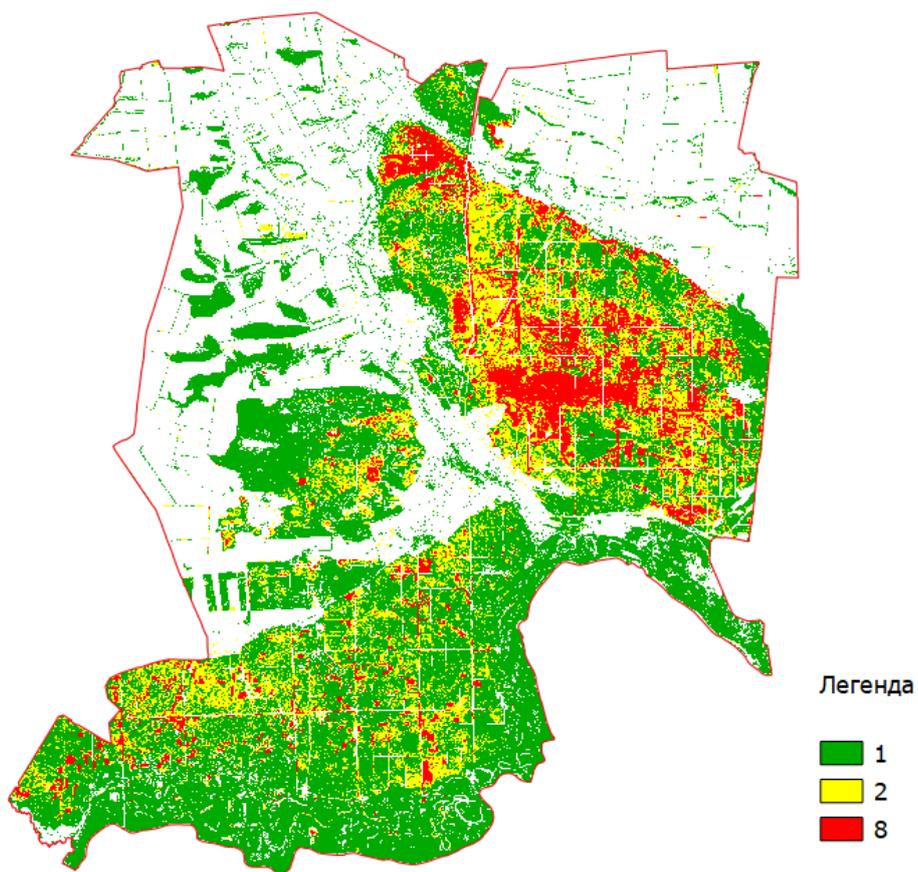


Рис. 7. Контрольована класифікація для знімка 2019 р. (3 класи дерев) /
Fig. 7. Supervised classification for the 2019 image (3 classes of trees)

- 2 клас включає пікселі, які ідентифікують ділянки сухих дерев;
- 8 клас охоплює пікселі, які зображують пошкоджені деревовкриті площі.

Зазначений алгоритм було використано для роботи з усіма іншими супутниковими знімками. Це дало можливість створити відповідні растрові

зображення, на яких знаходяться тільки пікселі, що відносяться до вказаного класу дерев (рис. 8).

Отримані матеріали шляхом векторизації дали змогу розрахувати площі усіх 3 класів деревовкритих територій, що відповідним чином відображають табл. 1 і 2 та рис. 9 і 10.

Проведений аналіз засвідчує значне погір-

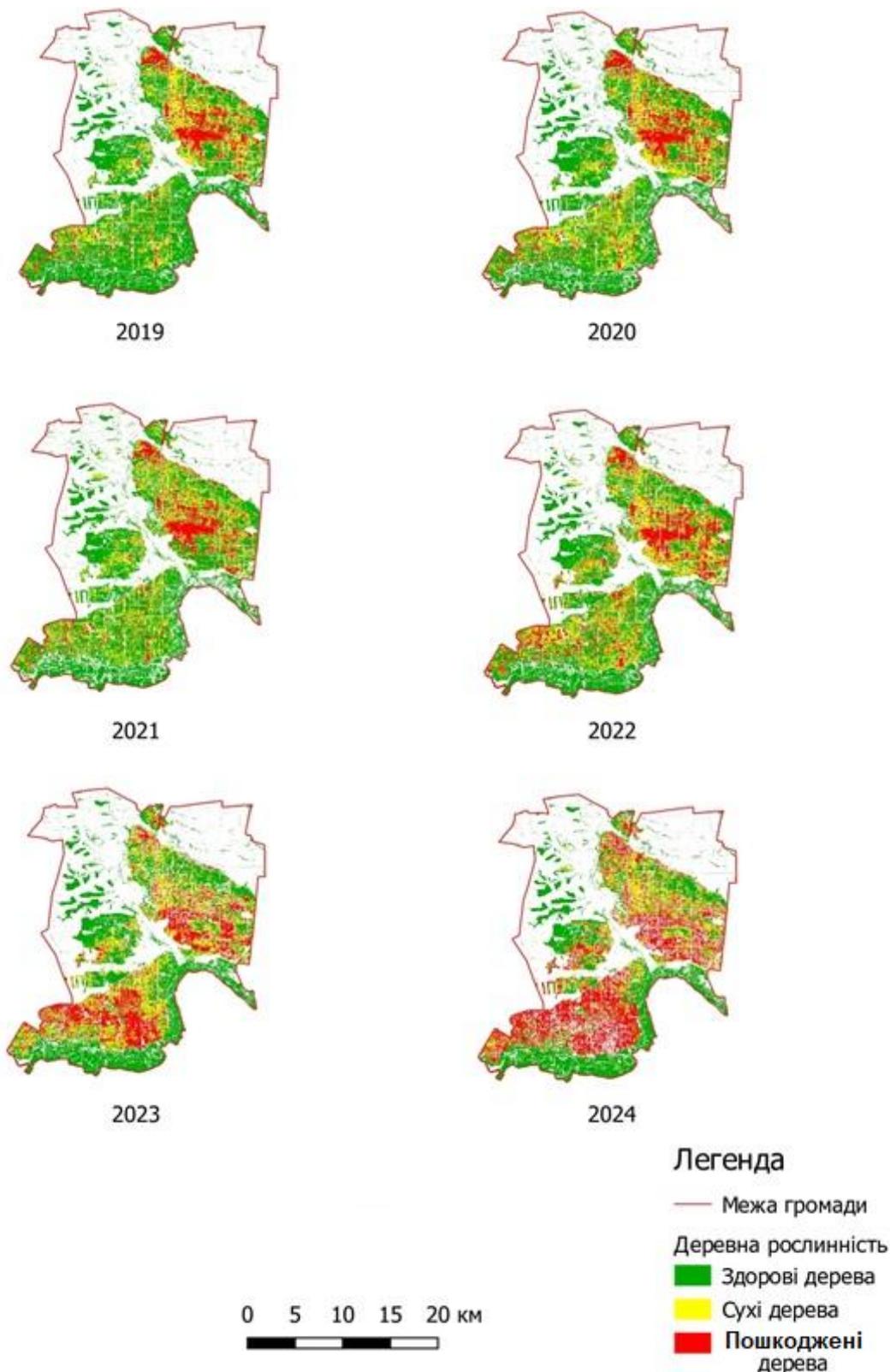
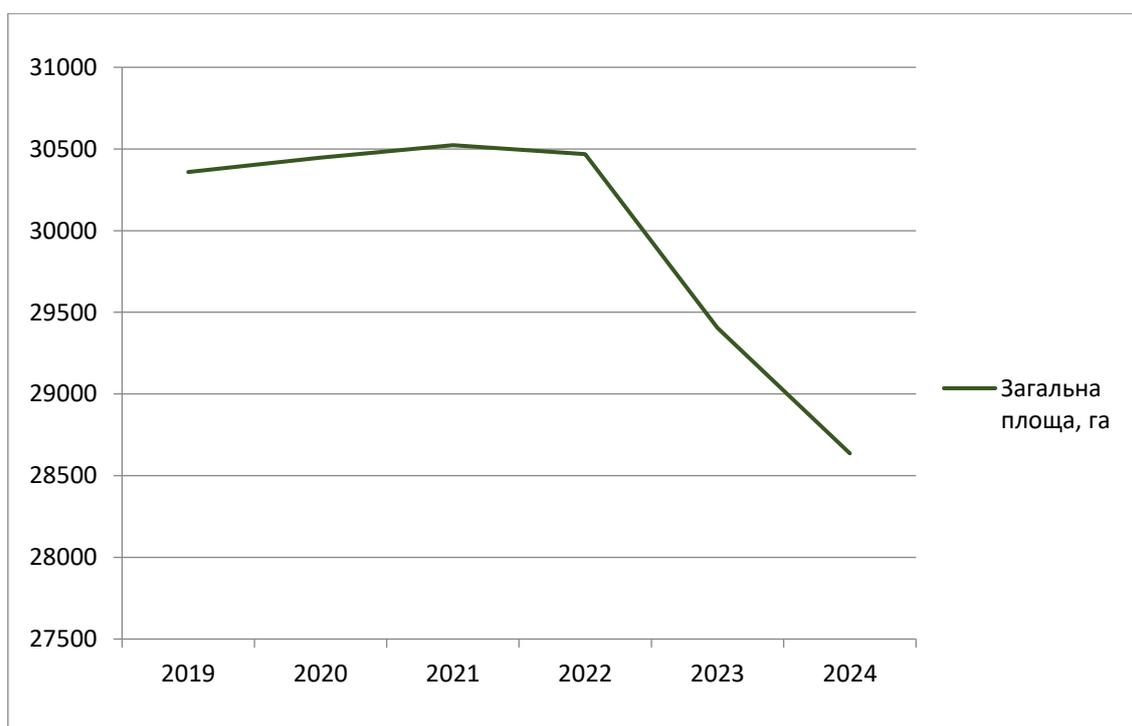


Рис. 8. Моніторинг вкритої деревною рослинністю території 2019-2024 рр. /
Fig. 8. Monitoring of the area covered with woody vegetation in 2019-2024

Площі деревовкритих територій Кременської громади /
Areas of tree-covered territories in Kreminna community

Рік	Площа територій із здоровими деревами		Площа територій із сухими деревами		Площа територій з пошкодженими деревами		Загальна площа деревовкритих територій, га
	га	%	га	%	га	%	
2019	19780,9	65,2	6918,0	22,8	3660,7	12,1	30359,5
2020	18681,4	61,4	7513,4	24,7	4252,0	14,0	30446,8
2021	18885,5	61,9	7900,0	25,9	3738,0	12,2	30523,3
2022	16755,4	55,0	8432,0	27,7	5280,1	17,3	30467,5
2023	14610,9	49,7	7676,8	26,1	7116,8	24,2	29404,5
2024	11952,9	41,7	6152,8	21,5	10531,1	36,8	28636,8

Рис. 9. Динаміка загальної площі деревовкритих територій /
Fig. 9. Dynamics of the total area of tree-covered areas

шення стану вкритих деревною рослинністю територій Кременської територіальної громади впродовж 2019-2024 рр. Загальна площа таких територій зменшилася з 30359,5 га до 28636,8 га. При цьому площа територій із здоровими деревами зменшилася з 19780,9 га (65,2% від загальної деревовкритої площі) до 11952,9 га (41,7% від загальної деревовкритої площі), площа із сухими деревами скоротилася з 6918,0 га (22,8% від загальної деревовкритої площі) до 6152,8 га (21,5% від загальної деревовкритої площі), а площа із пошкодженими збільшилася з 3660,7 га (12,1% від загальної деревовкритої площі) до 10531,1 га (36,8% від загальної деревовкритої площі).

Якщо брати до уваги 2019-2021 рр., то за цей проміжок загальна площа деревовкритих територій незначно, але все ж, збільшилася на 163,7 га.

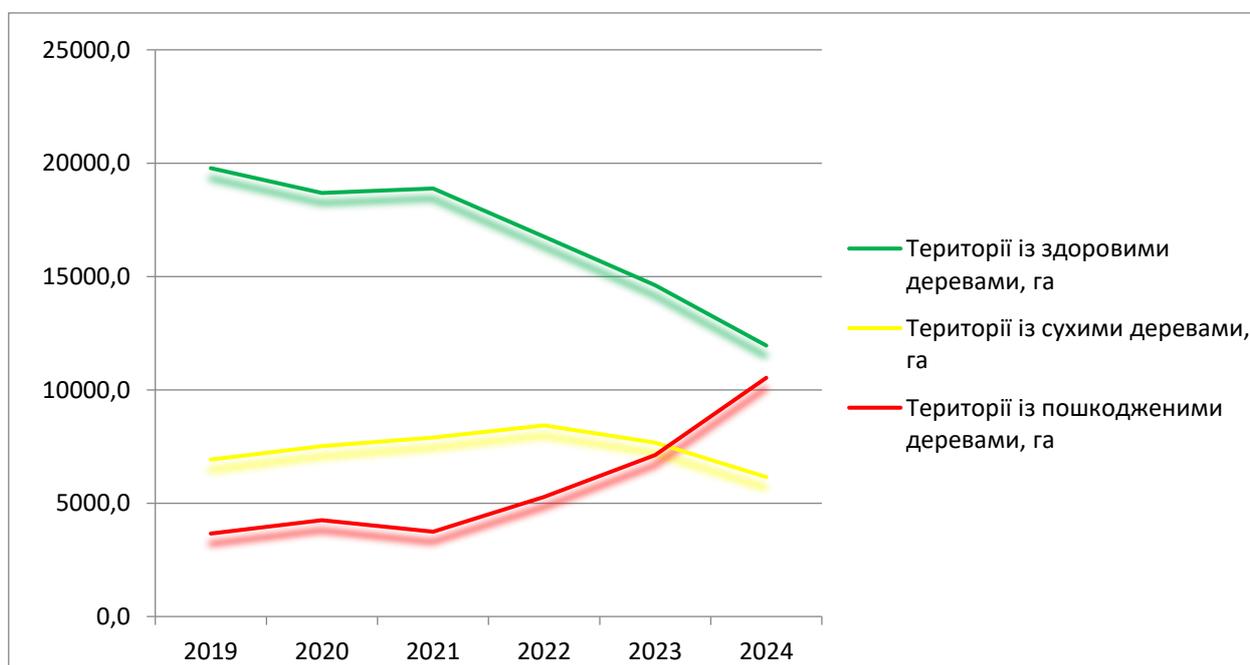
Але при цьому площа здорових дерев зменшилася на 895,5 га, а площа сухих і пошкоджених збільшилася відповідно на 982,0 га і 77,3 га.

Особливо великі втрати спостерігаються з початку повномасштабного вторгнення РФ: за час ведення бойових дій площа деревного покриву скоротилася загалом на 1886,5 га. Дуже гнітюче виглядають й інші дані: площа територій із здоровими деревами зменшилася на 6932,5 га, площа територій із пошкодженими збільшилася на 6792,4 га. Площа територій із сухими деревами скоротилася на 1747,1 га за рахунок масштабних пожеж, які там відбувалися.

Висновки. Розглянута методика на основі використання безкоштовних супутникових знімків Sentinel-2 та програмного забезпечення QGIS дозволяє надійно, оперативно і безпечно встановлювати стан вкритих деревною рослинністю

Зміна площ деревовкритих територій Кременської громади /
Change in the area of tree-covered territories in Kreminna community

Рік	Площа територій із здоровими деревами		Площа територій із сухими деревами		Площа територій з пошкодженими деревами		Загальна площа деревовкритих територій	
	га	різниця, га	га	різниця, га	га	різниця, га	га	різниця, га
2019	19780,9		6918,0		3660,7		30359,5	
		-1099,4		+595,4		+591,3		+87,2
2020	18681,4		7513,4		4252,0		30446,8	
		+203,9		+386,6		-514,0		+76,5
2021	18885,3		7900,0		3738,0		30523,3	
		-2129,9		+532,0		+1542,1		-55,8
2022	16755,4		8432,0		5280,1		30467,5	
		-2144,6		-755,1		+1836,6		-1063,0
2023	14610,9		7676,8		7116,8		29404,5	
		-2658,0		-1524,0		+3414,3		-767,7
2024	11952,9		6152,8		19531,1		28636,8	

Рис. 10. Динаміка площі деревовкритих територій за класами /
Fig. 10. Dynamics of the area of tree-covered areas by class

територій. Такі території можуть мати практично будь-які площі і знаходитися навіть у зонах безпосередніх бойових дій, що наразі є актуально для України. На основі отриманих матеріалів високого просторового розрізнення знайдено площі деревовкритих територій Кременської

громади для різних класів дерев станом на червень-липень кожного року періоду 2019-2024 рр. На представлених зображеннях усі ділянки із здоровими, сухими та пошкодженими деревами добре ідентифікуються, їх розміщення і площа є чіткими та зрозумілими.

Встановлено масштабні втрати деревної рослинності з початку повномасштабної російської військової агресії, наведено конкретні цифри по деревовкритій території загалом і по кожному з 3 виділених класів дерев.

Виконані дослідження є необхідною основою для розробки стратегії і створення планів по відновленню знищеної і пошкодженої деревної рослинності. Вони можуть бути корисними для

органів влади різних рівнів, територіальних громад, окремих відомств, підприємств, установ, на землях яких відбувалися чи наразі проходять бойові дії.

У перспективі і при виконанні певних умов розглянуті у дослідженні матеріали можуть доповнюватися даними радарного та лідарного знімання. Такий комплексний підхід дозволить поглибити моніторинг стану деревної рослинності.

Список використаних джерел

1. Балюк, С. А., Кучер, А. В., Солоха, М. О., & Соловей, В. Б. (2024). Оцінювання впливу збройної агресії РФ на ґрунтовий покрив України. *Український географічний журнал*, 1. 7-18. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.007>
2. Гаврилюк, Р., Шпак, О., Логвиненко, О., & Запольський, І. (2024). Методичні аспекти оцінки стану забруднення геологічного середовища нафтопродуктами, спричиненого військовою агресією РФ проти України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (61). 23-38. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-02>
3. Дідух, Я. П., Маруняк, Є. О., Лісовський, С. А., Куземко, А. А., & Чехній, В. М. (2024). Методологічні аспекти типізації впливів на довкілля, спричинених російською агресією в Україні. *Український географічний журнал*, 2. 3-12. <https://doi.org/10.15407/ugz2024.02.003>
4. Єлістратова, Л. О., Апостолов, О. А., Ходоровський, А. Я., Хиженяк, А. В., Томченко, О. В., & Лялько, В. І. (2022). Використання супутникової інформації для оцінки соціоекономічних наслідків від війни в Україні. *Український географічний журнал*, 2. 11-18. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.02.011>
5. Kozlova, A., Lischenko, L., Andreiev, A., Lubskiy, M., & Lysenko, A. (2024). Water Occurrence Mapping of Kakhovka Reservoir after the Dam Destruction. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024»*, Lviv, October 2024. 1-5.
6. Крайнюк, О., Буц, Ю., Барбашин, В., Нікітченко, О., & Сухов, В. (2024). Деградація екосистем у Харківській області під час війни: супутниковий аналіз. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (61). 329-343. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-26>
7. Макаренко, Н. А., Строкаль, В. П., Бережняк, Є. М., Бондарь, В. І., Павлюк, С. Д., Вагальок, Л. В., Наумовська, О. І., Ладика, М. М., & Ковпак, А. В. (2022). Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінювання. *Наукові доповіді НУБіП України*, 4(98). <https://doi.org/dopovidi2022.04.003>
8. Сніжко, С., Запотоцький, С., Шевченко, О., Олексієнко, І., Дідовець, Ю., & Бронстерт, А. (2023). Вплив руйнування Каховського водосховища на водні ресурси півдня України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, серія «Географія»*, 1/2 (86/87). 7-16. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2023.86.1>
9. Trofymchuk, O., Vishnyakov, V., Sheviakina, N., Klymenko, V., & Zahorodnia, S. (2023). Detection of surface soil disturbance areas as a result of military actions in Ukraine by remote sensing methods. *SGEM International Multi-disciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings*, 23(2.1). <https://doi.org/10.5593/sgem2023/2.1/s08.20>
10. Назорна, Н. В. (2023). Вплив воєнних дій на природоохоронні території Донецької області. *Фізична географія та геоморфологія*, 46(1). 47-53. <https://doi.org/10.17721/phgg.2023.1-6.05>
11. Пацев, І. С., Барабаш, О. В., & Пацева, І. Г. (2023). Вплив воєнних дій на лісові екосистеми Житомирщини. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*, 5(50). 114-118. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.16>
12. Зібцев, С. В., Сошенський, О. М., Голдаммер, Й. Г., Миронюк, В. В., Борсук, О. А., Гуменюк, В. В., Мешкова, В. Л., Василюк, О. В., & Букиша, І. Ф. (2022). Лісоуправління на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами. *WWF Україна*. 148.
13. Мороз, В. (2024). Аналіз та прогнозування масштабів та наслідків впливу лісових пожеж на екосистеми України. *Український журнал лісівництва та деревознавства*, 15(3). 43-60. <https://doi.org/10.31548/forest/3.2024.43>
14. Зібцев, С., Пастернак, В., Василишин, Р., Миронюк, В., Сидоренко, С., & Сошенський, О. (2024). Оцінка викидів вуглецю від ландшафтних пожеж в Україні за період війни у 2022 році. *Український журнал лісівництва та деревознавства*, 15(1). 126-139. <https://doi.org/10.31548/forest/1.2024.126>
15. Буц, Ю. В., Крайнюк, О. В., Сенчихін, Ю. М., Барбашин, В. В., & Трішина, О. О. (2023). Вплив небезпечних токсичних факторів пожеж при військових діях на екосистеми і життєдіяльність населення. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст», серія «Технічні науки та архітектура»*, 5, 180. 196-202. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-196-201>
16. Дорош, Й. М., Ібатуллін, Ш. І., & Дорош, О. С. (2023). Застосування геоінформаційних технологій при визначенні площ підтоплених земель унаслідок руйнування дамби Каховської ГЕС. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, 3. 98-109. <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriv2023.03.09>
17. Ліценко, Л. П., & Філіпович, В. Є. (2024). Оперативний супутниковий геомоніторинг наслідків руйнування греблі Каховської гідроелектростанції. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 11(1). 21-31. <https://doi.org/10.36023/ujsr.2024.11.1.257>

18. Klymenko, K., & Nazarova, O. (2024). *Assessment of the Occurrence and Spread of Fires Caused by Hostilities in the Ecosystems of Kyiv Polissia based on the Data of Remote Sensing of the Earth*. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», Lviv, October 2024. 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510032>
19. Кавац, О. О., Гнатушенко, В. В., Кібукевич, Ю. О., & Кавац, Ю. В. (2018). Комп'ютерний аналіз радарних зображень високої роздільної здатності з метою моніторингу лісових насаджень. *Вісник ХНТУ*, 3(66), 1. 260-264.
20. Gilmour, D. A., San, N. V., & Tsechalicha, X. (2000). *Rehabilitation of degraded forest ecosystems in Cambodia, Lao PDR, Thailand and Vietnam. An overview*, WWF. 72.
21. Heiderscheidt, D. (2018). *The Impact of World War one on the Forests and Soils of Europe*. *The Undergraduate Research Journal at the University of Northern Colorado*, 7(3), 3. <https://digscholarship.unco.edu/urj/vol7/iss3/3>
22. Mendez, F., & Valánszki, I. (2021). *Environmental Armed Conflict Assessment Using Satellite Imagery*. *Journal of Environmental Geography*, 13. 1-14.
23. West, A. J. (2003). *Forests and National Security: British and American Forestry Policy in the Wake of World War I*. *Environmental History*, 8(2). 270-293. <https://doi.org/10.2307/3985712>
24. Goldammer, J. G. (2013). *Beyond Climate Change: Wildland Fires and Human Security in Cultural Landscapes in Transition – Examples from Temperate-Boreal Eurasia*. *Vegetation Fires and Global Change – Challenges for Concerted International Action A White Paper directed to the United Nations and International Organizations*. 285-311.
25. Dudley, J. P., Ginsberg, J. R., Plumtre, A. J., Hart, J. A., & Campos, L. C. (2002). *Effects of War and Civil Strife on Wildlife and Wildlife Habitats*. *Conservation Biology*, 16(2). 319-329. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.0030>
26. Hanson, T. (2018). *Biodiversity conservation and armed conflict: a warfare ecology perspective*. *Annals of the New York Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1111/nyas.13689>
27. Van Etten, J., Jongerden, J., de Vos, H. J., Klaasse, A., & van Hove, E. C. E. (2008). *Environmental destruction as a counterinsurgency strategy in the Kurdistan region of Turkey*. *Geoforum*, 39(5). 1786-1797. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.05.001>
28. Butsic, V., Baumann, M., Shortland A., Walker S., & Kuemmerle, T. (2015). *Conservation and conflict in the Democratic Republic of Congo: The impacts of warfare, mining, and protected areas on deforestation*. *Biological Conservation*, 191. 266-273. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.037>
29. *United Nations Environment Programme, 2007. Sudan Post-Conflict Environmental Assessment*. Nairobi: UNEP. https://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_Sudan.pdf
30. Vanegas-Cubillos, M., Sylvester, J., Villarino, E., P'erez-Marulanda, L., Ganzenmüller, R., L'ohr, K., Bonatt, M., & Castro-Nunez, A. (2022). *Forest cover changes and public policy: A literature review for post-conflict Colombia*. *Land Use Policy*. 114. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105981>
31. Borkowski, P. (2019). *Land mines threaten people and seriously impact sustainable forest management in Europe*. *The European State Forest Association (EUSTAFOR)*. <https://eustafor.eu/land-mines-threaten-people-and-seriously-impact-sustainable-forest-management-in-europe/>
32. *Guidelines for the creation and implementation of infrastructure concepts for preventive forest fire protection and the use of authorities and organizations with security tasks (BOS) on areas suspected of or contaminated with explosive ordnance (2020)*. Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA), Bundesforst.
33. Musa, S., Šiljković, Ž., & Šakić, D. (2017). *Geographical reflections of mine pollution in Bosnia and Herzegovina and Croatia*. *Journal for Geography*, 12(2). 53-70. <https://doi.org/10.18690/rg.12.2.3994>
34. Prem, M., Purroy, M. E., & Vargas, J. F. (2021). *Landmines: the local effects of demining*. *Documentos de Trabajo 019588*, Universidad del Rosario. <https://ideas.repec.org/cgi-bin/refs.cgi>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

The state of tree-covered territories of Kreminna community in Luhansk region during the war: satellite analysis

Serhii Ostapchuk¹

PhD (Technical), Associate Professor, Department of Geodesy and Cartography,
¹ National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine;

Oksana Ostapchuk¹

PhD (Technical), Associate Professor,
Department of Computer Science and Applied Mathematics;

Pavlo Bilchuk¹

MSc, Department of Geodesy and Cartography

ABSTRACT

Problem statement. As a result of Russia's military aggression, the environment is suffering extensive damage, among which the loss of woody vegetation is one of the most significant. Areas covered with woody vegetation (forests, plantations, gardens, parks, etc.) have camouflage properties, so they are constantly destroyed and damaged by shelling, fires, mines, military vehicles, construction of fortifications, etc.

Analysis of the latest research and publications. Various issues related to the study of the environmental impact of military operations are a complex and large-scale task, so a considerable number of scientific publications with analysis of relevant situations and assessment methodologies are devoted to their study.

The purpose of the research is to monitor and identify the loss of woody vegetation on the territory of the most forested Kreminna territorial community in Luhansk Oblast, where hostilities have been taking place for a long time and are currently taking place.

Material and methods of research. Free Sentinel-2 satellite images and QGIS software were used in the research. It was decided to select the images for 2019-2024 in the period of June-July, when the vegetation is in the active vegetation phase. This approach seems correct and logical, as it provides equal time intervals and covers 3 years before the full-scale Russian invasion and 3 years after. In a generalized form, the procedure of the research methodology can be presented as follows: downloading vector data and satellite images; image preparation; image classification; monitoring the state of woody vegetation.

Results. According to the methodology described above, using the NDMI moisture index, the corresponding raster images were created, which contained only pixels related to trees: healthy, dry, and damaged. Based on the obtained materials, the areas of tree-covered areas of the Kreminna community for the 3 classes of trees were found. All areas with healthy, dry, and damaged trees are clearly identified on the images. It was found that during 2019-2024, the total area of tree-covered territories of the community decreased from 30359.5 hectares to 28636.8 hectares. Particularly severe losses have been detected since the beginning of full-scale Russian military aggression: the total area of tree-covered territories decreased by 1886.5 hectares. At the same time, the area of territories with healthy trees decreased by 6932.5 hectares, the area with damaged trees increased by 6792.4 hectares, and the area with dry trees decreased by 1747.1 hectares due to large-scale fires that occurred there.

Scientific novelty and practical significance. The proposed model for determining the state of woody vegetation in the conditions of full-scale Russian military aggression was first implemented for the territory of the Kreminna territorial community. The surveys conducted allow us to quickly determine the condition of areas covered with woody vegetation and create plans for their restoration. In this regard, they can be useful for authorities at various levels, territorial communities, individual departments, enterprises, and institutions on whose lands hostilities took place or are currently taking place during the Russian-Ukrainian war.

Keywords: *monitoring, woody vegetation, hostilities, satellite images, indices, image classification, area, Kreminna community.*

References

1. Balyuk S.A., Kucher A.V., Solokha M.O., Solovey V.B. (2024). Assessment of the impact of the armed aggression of the Russian Federation on the soil cover of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. 1. 7-18. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.01.007> [in Ukrainian]
2. Gavryliuk R., Shpak O., Logvinenko O., Zapolsky I. (2024). Methodological aspects of assessing the state of pollution of the geological environment by oil products caused by the military aggression of the Russian Federation against Ukraine. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 61. 23-38. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-02> [in Ukrainian]
3. Didukh Y.P., Marunyak E.O., Lisovsky S.A., Kuzemko A.A., Chekhniy V.M. (2024). Methodological aspects of typification of environmental impacts caused by Russian aggression in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. 2. 3-12. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2024.02.003> [in Ukrainian]
4. Yelistratova L.O., Apostolov O.A., Khodorovskiy A.Y., Khyzhnyak A.V., Tomchenko O.V., Lyal'ko V.I. (2022). Use of satellite information to assess the socio-economic consequences of the war in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. 2. 11-18. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.02.011> [in Ukrainian]
5. Kozlova A., Lischenko L., Andreiev A., Lubskiy M., Lysenko A. (2024). Water Occurrence Mapping of Kakhovka Reservoir after the Dam Destruction. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024»*, Lviv, October 2024. 1-5.
6. Krainiuk O., Buts Y., Barbashyn V., Nikitchenko O., Sukhov V. (2024). Ecosystem degradation in Kharkiv region during the war: satellite analysis. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 61. 329-343. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-26> [in Ukrainian]
7. Makarenko N.A., Stokal V.P., Berezhniak E.M., Bondar V.I., Pavliuk S.D., Vahaliuk L.V., Naumovska O.I., Ladika M.M., Kovpak A.V. (2022). The impact of Russian military aggression on the natural resources of Ukraine: analysis of the situation, assessment methodology. *Scientific Reports of NULES of Ukraine*. 4(98). DOI: <https://doi.org/dopovidi2022.04.003> [in Ukrainian]
8. Snizhko S., Zapotskyi S., Shevchenko O., Oleksienko I., Didovets Y., Bronstert A. (2023). The impact of the destruction of the Kakhovka reservoir on the water resources of southern Ukraine. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography Series*. 1/2 (86/87). 7-16. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2023.86.1> [in Ukrainian]
9. Profymchuk O., Vishnyakov V., Sheviakina N., Klymenko V., Zahorodnia S. (2023). Detection of surface soil disturbance areas as a result of military actions in Ukraine by remote sensing methods. *SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings*. 23(2.1). DOI: <https://doi.org/10.5593/sgem2023/2.1/s08.20>
10. Nagorna N.V. (2023). The impact of military operations on the protected areas of Donetsk region. *Physical Geography and Geomorphology*. 46(1). 47-53. DOI: <https://doi.org/10.17721/phgg.2023.1-6.05> [in Ukrainian]
11. Patsev I.S., Barabash O.V., Patseva I.G. (2023). Impact of military operations on forest ecosystems of Zhytomyr region. *Scientific and Practical Journal "Ecological Sciences"*. 5(50). 114-118. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.16> [in Ukrainian]

12. Zibtsev S.V., Soshensky O.M., Goldammer J.G., Myroniuk V.V., Borsuk O.A., Humeniuk V.V., Meshkova V.L., Vasilyuk O.V., Buksha I.F. (2022). Forest management in areas contaminated by explosive ordnance. *WWF Ukraine*. 148. [in Ukrainian]
13. Moroz V. (2024). Analysis and prediction of the scale and consequences of the impact of forest fires on the ecosystems of Ukraine. / *Ukrainian Journal of Forestry and Wood Science*. 15(3). 43-60. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest/3.2024.43> [in Ukrainian]
14. Zibtsev S., Pasternak V., Vasylyshyn R., Myroniuk V., Sydorenko S., Soshenskyi O. (2024). Estimation of carbon emissions from landscape fires in Ukraine during the war in 2022. *Ukrainian Journal of Forestry and Wood Science*. 15(1). 126-139. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest/1.2024.126> [in Ukrainian]
15. Buts Y.V., Krainiuk O.V., Senchikhin Y.M., Barbashyn V.V., Trishina O.O. (2023). Influence of dangerous toxic factors of fires during military operations on ecosystems and human activity. *Scientific and technical collection "Municipal Economy of Cities"*, series "Technical Sciences and Architecture". 5, 180. 196-202. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-6-180-196-201> [in Ukrainian]
16. Dorosh Y.M., Ibatullin Sh.I., Dorosh O.S. (2023). Application of geographic information technologies in determining the areas of flooded lands due to the destruction of the Kakhovka HPP dam. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*. 3. 98-109. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriv2023.03.09> [in Ukrainian]
17. Lishchenko L.P., Filipovych V.E. (2024). Operational satellite geomonitoring of the consequences of the destruction of the Kakhovka hydroelectric power plant dam. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*. 11(1). 21-31. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2024.11.1.257> [in Ukrainian]
18. Klymenko K., Nazarova O. (2024). Assessment of the Occurrence and Spread of Fires Caused by Hostilities in the Ecosystems of Kyiv Polissia based on the Data of Remote Sensing of the Earth. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024»*. Lviv, October 2024. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510032>
19. Kavats O.O., Hnatushenko V.V., Kibukeych Y.O., Kavats Y.V. (2018). Computer analysis of high-resolution radar images for the purpose of monitoring forest plantations. *Bulletin of KhNTU*. 3 (66), 1. 260-264. [in Ukrainian]
20. Gilmour D.A., San. Tsechalicha X. (2020). Rehabilitation of degraded forest ecosystems in Cambodia, Lao PDR, Thailand and Vietnam. *An overview*. WWF. 72.
21. Heiderscheidt D. (2018). The Impact of World War one on the Forests and Soils of Europe. *The Undergraduate Research Journal at the University of Northern Colorado*. 7(3). 3. DOI: <https://digscholarship.unco.edu/urj/vol7/iss3/3>
22. Mendez F., Valánszki I. (2021). Environmental Armed Conflict Assessment Using Satellite Imagery. *Journal of Environmental Geography*. 13. 1-14.
23. West A.J. (2003). Forests and National Security: British and American Forestry Policy in the Wake of World War I. *Environmental History*. 8(2). 270–293. DOI: <https://doi.org/10.2307/3985712>
24. Goldammer J.G. (2013). Beyond Climate Change: Wildland Fires and Human Security in Cultural Landscapes in Transition – Examples from Temperate-Boreal Eurasia. *Vegetation Fires and Global Change – Challenges for Concerted International Action a White Paper directed to the United Nations and International Organizations*. 285-311.
25. Dudley J.P., Ginsberg J.R., Plumptre A.J., Hart J.A., Campos L.C. (2002). Effects of War and Civil Strife on Wildlife and Wildlife Habitats. *Conservation Biology*. 16(2). 319–329. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.0030>
26. Hanson T. (2018). Biodiversity conservation and armed conflict: a warfare ecology perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences*. DOI: <https://doi.org/10.1111/myas.13689>
27. Van Etten J., Jongerden J., de Vos H.J., Klaasse A., van Hove E.C.E. (2008). Environmental destruction as a counterinsurgency strategy in the Kurdistan region of Turkey. *Geoforum*. 39(5). 1786–1797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.05.00>
28. Butsic V., Baumann M., Shortland A., Walker S., Kuemmerle T. (2015). Conservation and conflict in the Democratic Republic of Congo: The impacts of warfare, mining, and protected areas on deforestation. 191. 266–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.037>
29. United Nations Environment Programme. (2007). *Sudan Post-Conflict Environmental Assessment*. Nairobi. UNEP. DOI: https://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_Sudan.pdf
30. Vanegas-Cubillos M., Sylvester J., Villarino E., P´erez-Marulanda L., Ganzenmüller R., L´ohr K., Bonatti M., Castro-Nunez A. (2022). Forest cover changes and public policy: A literature review for post-conflict Colombia. *Land Use Policy*. 114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105981>
31. Borkowski P. (2019). Land mines threaten people and seriously impact sustainable forest management in Europe. *The European State Forest Association (EUSTAFOR)*. <https://eustafor.eu/land-mines-threaten-people-and-seriously-impact-sustainable-forest-management-in-europe/>
32. *Guidelines for the creation and implementation of infrastructure concepts for preventive forest fire protection and the use of authorities and organizations with security tasks (BOS) on areas suspected of or contaminated with explosive ordnance*. (2020). Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA). Bundesforst.
33. Musa S., Šakić D., Šiljković Ž. (2017). Geographical reflections of mine pollution in Bosnia and Herzegovina and Croatia. 12-2.
34. Prem M., Purroy M.E., Vargas J.F. (2021). *Landmines: the local effects of demining*. Documentos de Trabajo 019588. Universidad del Rosario.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Received 7 April 2025

Accepted 18 May 2025