УДК 528.8:004.9:630.43(282.247.3)(477.51)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.5-68.35

ДИНАМІКА ВІДНОВЛЕННЯ ЛІСОВИХ ТЕРИТОРІЙ ПОЛІСЬКОЇ ЧАСТИНИ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ІНДЕКСУ NDVI (2016–2025 РР.)

Яковенко О.І.[1,2] (orcid.org/0000-0003-1417-6042),
Асмаковський Є.В.[3] (orcid.org/0000-0001-7134-0545)
[1]Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка
вул. Гетьмана Полуботка, 53, 14013, Чернігів
[2]Інститут географії Національної академії наук України
вул. Володимирська, 44, 01030, Київ
[3]Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
вул. Шевченка, 97, 14030, Чернігів
ajakov2@gmail.com, zhekasmakovsk1y@gmail.com

Лісові території поліської частини Чернігівської області зазнають комплексних змін за рахунок впливу антропогенних та природних чинників, серед яких провідну роль відіграють рубки, пожежі різного генезу, а також наслідки повномасштабних бойових дій, що розпочалися у 2022 році. Окрім оцінки масштабів втрат лісового покриву, постає необхідність проведення комплексних досліджень спрямованих на визначення темпів, особливостей та повноти його відновлення. Метою дослідження є кількісна оцінка динаміки відновлення лісового покриву на основі аналізу багаторічних часових рядів нормалізованого різницевого індексу рослинності – NDVI за період 2016–2025 років. Дослідження базується на використанні супутникових знімків Sentinel-2, доступних через платформу Google Earth Engine. Для кожного року спостережень сформовано медіанні літні композити за червень–серпень із застосуванням алгоритмів маскування хмар. Просторовий аналіз і розрахунок середніх значень NDVI у межах полігонів виконано у середовищі QGIS, а статистичну обробку виконано із використанням бібліотек Python. Об'єктами аналізу виступили полігони, на яких зафіксовані втрати лісового покриву у 2001–2024 роках, які включають понад 148000 ділянок після рубок та 8068 ділянок після пожеж. У результаті дослідження встановлено чітку залежність між типом змін, їх давністю та рівнем відновлення лісової рослинності. Встановлено, що ділянки, які зазнали змін у 2001–2010 роках, характеризуються високим показником NDVI із середнім значенням понад 0,74–0,81 одиниць. Території, які зазнали змін у 2011–2015 роках, перебувають на стадії активного відновлення, тоді як ділянки 2016–2021 років характеризуються частковим відновленням. Найбільш критичний стан зафіксовано для територій, що зазнали впливу у 2022–2024 роках, де показник NDVI різко знизився та демонструє повільну динаміку відновлення. Встановлено, що відновлення після рубок відбувається швидше у порівнянні з пожежами, що, ймовірно, пов'язано зі збереженням підліску та меншою трансформацією ґрунтового покриву. Отримані результати дозволяють оцінити сучасний стан лісових екосистем, визначити закономірності розвитку сукцесій після змін та визначити тенденції відновлення лісового покриву. Практичне значення дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів для обґрунтування лісовідновлювальних заходів, моніторингу стану лісів та оптимізації природокористування в умовах повномасштабних бойових дій. *Ключові слова:* дистанційне зондування, індекс NDVI, Google Earth Engine, Sentinel-2, динаміка лісової рослинності, Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся.

Dynamics of forest area recovery in the Polissia part of Chernihiv region based on NDVI index values (2016–2025). Yakovenko O., Asmakovskyi Ye.

The forest areas of the Polissia part of the Chernihiv region are undergoing complex changes due to the influence of anthropogenic and natural factors, among which the leading role is played by logging, fires of various origins, as well as the consequences of full-scale hostilities that began in 2022. In addition to assessing the scale of forest cover losses, there is a need to conduct comprehensive studies aimed at determining the pace, features and completeness of its restoration. The purpose of the study is to quantitatively assess the dynamics of forest cover restoration based on the analysis of multi-year time series of the normalized difference vegetation index – NDVI for the period 2016–2025. The study is based on the use of Sentinel-2 satellite images available through the Google Earth Engine platform. For each year of observations, median summer composites for June–August were formed using cloud masking algorithms. Spatial analysis and calculation of average NDVI values within polygons were performed in the QGIS environment, and statistical processing was performed using Python libraries. The objects of analysis were polygons where forest cover losses were recorded in 2001–2024, which include more than 148,000 areas after logging and 8,068 areas after fires. As a result of the study, a clear relationship was established between the type of changes, their duration and the level of forest vegetation restoration. It was found that the areas that underwent changes in 2001–2010 are characterized by a high NDVI index with an average value of more than 0.74–0.81 units. The areas that underwent changes in 2011–2015 are at the stage of active restoration, while the areas of 2016–2021 are characterized by partial restoration. The most critical condition was recorded for the areas that were affected in 2022–2024, where the NDVI index decreased sharply and demonstrates slow restoration dynamics. It was found that recovery after logging occurs faster than after fires,

© Яковенко О.І., Асмаковський Є.В., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

which is probably due to the preservation of the undergrowth and less transformation of the soil cover. The results obtained allow us to assess the current state of forest ecosystems, determine the patterns of succession development after changes, and determine trends in forest cover recovery. The practical significance of the study lies in the possibility of using the results obtained to substantiate forest restoration measures, monitor the state of forests, and optimize environmental management in conditions of full-scale hostilities. *Key words*: remote sensing, NDVI index, Google Earth Engine, Sentinel-2, forest vegetation dynamics, Chernihiv and Novhorod-Siversk Polissia.

Постановка проблеми. З початком широкомасштабних бойових дій на території України у 2022 році особливої актуальності набуло питання моніторингу та аналізу змін лісового покриву, насамперед у прикордонній зоні Чернігівської області.

До 2022 року провідним чинником змін лісового покриву в регіоні була господарська діяльність людини, яка включала лісозаготівлю, меліорацію та розчищення лісових ділянок та трансформацію окремих земель під сільськогосподарське використання. У зв'язку з бойовими діями контроль за використанням лісових ресурсів суттєво ускладнився, зросла несанкціонована лісозаготівля, як місцевим населенням для власних потреб, так і для військових цілей, зокрема для будівництва фортифікаційних споруд.

Крім того, бойові дії зумовили формування додаткових факторів, які впливають на лісові екосистеми, зокрема механічне пошкодження деревостанів внаслідок розривів боєприпасів, інтенсивне пересування військової техніки та облаштування фортифікаційних споруд, локальні пожежі, забруднення та супутню деградацію ґрунтового покриву. Сукупна дія цих факторів змінює структуру лісових насаджень, знижує їх природню стійкість та призводить до зниження екологічних функцій лісових екосистем.

Особливої актуальності набула проблема формування лісових пожеж у поліській частині Чернігівської області, які призводять до масштабних втрат лісових ресурсів, завдаючи значних економічних і екологічних збитків регіону. Унаслідок пожеж відбувається деградація лісових водозборів, порушується гідрологічний режим, стан ґрунтового покриву, знижуються екологічні функції лісів. Починаючи з 2022 року першопричиною виникнення та поширення лісових пожеж, насамперед у прикордонній зоні Чернігівської області є активні бойові дії.

Проведення класичних досліджень у регіоні значно ускладнилися або взагалі стали неможливими з огляду на загрозу для життя і здоров'я людей, мінування територій та їх забруднення вибухонебезпечними предметами, заборону на відвідування лісових територій та запровадженими обмеженнями на польоти, що унеможливлює застосування безпілотних авіаційних систем для здійснення дистанційного моніторингу. У таких умовах особливої актуальності набувають технології дистанційного зондування Землі із застосування супутникових даних для оцінювання стану та динаміки лісових екосистем.

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження зумовлена значними втратами лісового покриву поліської частини Чернігівської області та недостатнім рівнем його відновлення. В умовах обмеженого або взагалі відсутнього доступу до цих територій особливого значення набувають методи дистанційного зондування Землі, зокрема використання індексу NDVI на основі супутникових даних Sentinel-2 у поєднанні з інформацією про роки змін лісового покриву [1], отриманою з ресурсу Global Forest Watch [2]. Це дозволяє здійснювати кількісну оцінку стану та динаміки відновлення лісової рослинності, виявляти осередки, першопричини, кількісні показники з подальшим прогнозуванням трансформації лісових екосистем регіону, що в свою чергу є необхідним елементом для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері лісового господарства.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведені дослідження мають суттєве значення для реалізації національних і регіональних завдань щодо збереження лісів в Україні. Вони узгоджуються з положеннями Указів Президента України № 381/2017 «Про додаткові заходи щодо розвитку лісового господарства, раціонального природокористування та збереження об'єктів природно-заповідного фонду», № 511/2019 «Про деякі заходи щодо збереження лісів та раціонального використання лісових ресурсів», № 722/2019 «Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» та «Програма охорони навколишнього природного середовища Чернігівської області на 2021-2027 роки». Крім того, результати досліджень відповідають вимогам Директиви 92/43/ЄЕС та Стратегії ЄС щодо біорізноманіття до 2030 року, зокрема в частині збереження рідкісних природних оселищ, підвищення ефективності екосистемного моніторингу лісової рослинності та обґрунтування заходів з відновлення лісів у повоєнний період.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження, присвячені оцінці стану лісових екосистем все більше базуються на застосуванні методів дистанційного зондування Землі, геоінформаційних систем та аналізу часових рядів супутникових даних. Застосування даних супутникових платформ Landsat і Sentinel-2 дає змогу виявляти та класифікувати зміни лісового покриву, визначати масштаби лісових пожеж, рубок, осередків деградації, а також оцінювати динаміку відновлення лісового покриву.

Значна кількість досліджень присвячена розробленню методів аналізу часових рядів вегетаційних

індексів, насамперед NDVI. Встановлено, що аналіз багаторічної динаміки NDVI є ефективним інструментом виявлення змін у лісовому покриві, оцінці швидкості відновлення після пожеж та виокремлення довгострокових тенденцій формування рослинного покриву від міжрічної мінливості [4; 5]. Також досить широко застосовуються алгоритми часової диференціації супутникових даних, зокрема LandTrendr, які забезпечують автоматизоване визначення часу виникнення змін лісового покриву та тривалості процесів його відновлення [6].

Окремий напрям сучасних досліджень пов'язаний із використанням супутникових даних Sentinel-2 для картографування змін лісового покриву та оцінювання наслідків лісових пожеж. Опрацювання супутникових знімків в автоматичному режимі забезпечує високу точність виявлення змін лісового покриву [7; 8]. Подальший розвиток цього напряму пов'язаний з інтеграцією даних Sentinel-2 у поєднанні з застосуванням безпілотних літальних апаратів для виконання аерофотознімання, що дозволяє суттєво підвищити точність оцінки стану лісового покриву і картографування деградованих територій [9].

Оцінка достовірності глобальних баз даних щодо змін лісового покриву також є важливим напрямом сучасних геоінформаційних досліджень. Доведено доцільність використання даних дистанційного зондування різної просторової роздільності для підвищення точності визначення втрат лісів, класифікації типів змін і оцінювання динаміки лісових екосистем [10; 11]. Поєднання часових рядів Landsat із даними LiDAR розширює можливості оцінювання змін біомаси та процесів відновлення лісів після деградаційних процесів [12]. Особлива увага також приділена дослідженню відновлення лісових екосистем після пожеж та впливу екстремальних кліматичних явищ на швидкість та повноту їх відновлення [13].

В Україні питання застосування дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій для моніторингу лісових екосистем висвітлено у низці праць [14-25]. У зазначених роботах досліджено можливості використання часових рядів NDVI для оцінювання стану лісової рослинності, розроблено підходи до класифікації лісового покриву за супутниковими даними, доведено ефективність застосування ГІС для моніторингу лісових екосистем, а також висвітлено особливості дистанційного оцінювання наслідків природних пожеж і поширення осередків деградації лісових територій.

Після початку повномасштабних бойових дій особливої актуальності набули дослідження, спрямовані на оцінювання впливу військового фактору впливу на природні екосистеми. Зокрема, для Харківської області виконано супутниковий аналіз деградації природніх екосистем внаслідок воєнних дій [26], а також досліджено масштаби лісових пожеж у прикордонних районах Чернігівської області та їхній потенційний вплив на природно-заповідний фонд регіону [27]. Разом із тим наявні дослідження переважно мають локальний характер або охоплюють окремі часові проміжки, що не дає змогу здійснити комплексну оцінку довготривалої динаміки рослинного покриву на територіях, які зазнали впливу від бойових дій.

Отже, незважаючи на значну кількість досліджень щодо використання дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій у моніторингу лісових екосистем, недостатньо вивченими залишаються питання комплексного аналізу багаторічної динаміки NDVI на територіях, що зазнали впливу бойових дій, зокрема у прикордонній зоні Чернігівської області. Це обумовлює необхідність удосконалення підходів для оцінки просторово-часових змін лісового покриву регіону із застосуванням сучасних методів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Незважаючи на наявність загальних оцінок втрат і відновлення лісового покриву, залишаються невирішеними такі аспекти:

1) відсутність детального аналізу швидкості та повноти відновлення рослинності на рівні окремих ділянок на різних стадіях сукцесійних змін;

2) вплив типу втрат лісового покриву (рубки чи пожежі) на динаміку показника NDVI та процеси відновлення лісової рослинності;

3) роль природних умов, зокрема едафічних особливостей і типів лісових угруповань у процесах відновлення лісового покриву;

4) особливості відновлення лісових територій, деградованих унаслідок повномасштабних бойових дій.

Наукова новизна. Уперше для поліської частини Чернігівської області здійснено комплексний аналіз динаміки відновлення лісової рослинності на основі аналізу ділянок, що зазнали змін протягом 2001–2024 років, за часовими рядами NDVI Sentinel-2 у період 2016–2025 років. Встановлено закономірності зміни показника залежно від типу втрат лісового покриву (рубки, пожежі), часу їх виникнення та природних умов. Виявлено відмінності у швидкості відновлення між різними типами змін, а також визначено особливості відновлення територій, зміни на яких відбувалися в умовах повномасштабних бойових дій.

Методологічне значення. Методологічне значення дослідження полягає у застосуванні інтегрованого підходу, що поєднує використання відкритих супутникових даних Sentinel-2, геоінформаційної платформи Google Earth Engine, Global Forest Watch та ГІС-аналізу у середовищі QGIS [1; 2; 3; 28]. Запропонована методика є відтворюваною та придатною для масштабного моніторингу лісових екосистем, особливо в умовах обмеженого доступу до територій в умовах повномасштабних бойових дій.

Вона також може бути використана для аналізу динаміки рослинності в інших регіонах після деградаційних змін різного генезу.

Матеріали та методи. Основою проведеного дослідження стало поєднання ряду незалежних джерел даних, а саме: часових рядів NDVI, розрахованих за супутниковими знімками Sentinel-2 Surface Reflectance (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED), доступними через платформу Google Earth Engine за період 2016–2025 рр; тематичних растрових шарів змін лісового покриву, отриманих з платформи Global Forest Watch (на основі набору даних Global Forest Change) [29], які містять інформацію про рік втрати лісового покриву починаючи з 2001 р., а також растровий шар втрат лісового покриву внаслідок пожеж за 2001–2024 рр. (https://glad.umd.edu/users/Alexandra/Fire_GFL_data/2001-24/) [30].

Рік втрати лісового покриву використовувався як часовий атрибут для групування полігонів, тоді як значення NDVI розраховувалися виключно за знімками Sentinel-2 у межах періоду 2016–2025 рр. Дане поєднання дало змогу оцінити сучасний стан лісової рослинності на ділянках, що зазнали змін у різні роки.

Індекс NDVI розраховувався на основі відбиття поверхнею випромінювання у червоному та ближньому інфрачервоному спектральних діапазонах за формулою:

$$NDVI = (NIR – RED) / (NIR + RED) = (B8 – B4) / (B8 + B4),$$

де B8 – ближній інфрачервоний канал (842 нм), B4 – червоний канал (665 нм); просторова роздільна здатність – 10 м. Значення індексу змінюються в межах від –1 до +1: від'ємні значення відповідають водним поверхням, льоду або снігу, значення, близькі до нуля, – відкритим ґрунтам і хмарам, а високі значення характеризують густу здорову рослинність (Рис. 1.).

Для кожного з 9 календарних років спостережень (2016, 2017, 2019–2025) формувалася медіанна композиція знімків за літній вегетаційний сезон (червень–серпень) з маскуванням хмар і хмарних тіней за алгоритмом s2cloudless (порогове значення ймовірності хмарності – 45 %) та маскуванням крайових артефактів сцени за каналами B8A і B9. 2018 рік виключено з аналізу через недостатнє покриття чистими пікселями в архіві Sentinel-2 для досліджуваної території.

Об'єктами аналізу слугували векторні набори полігонів, отримані авторами шляхом векторизації в середовищі QGIS растрових шарів, завантажених з платформи Global Forest Watch та з ресурсу https://glad.umd.edu:

– полігони пожеж (8068 ділянок) з інформацією про площу та просторове розташування ділянок вигоряння за 2001–2024 рр.;

– полігони рубок (понад 148 000 ділянок) з інформацією про площі та роки проведення рубок за той самий період.

Кожен полігон містив атрибут «рік втрати лісового покриву» (від 1 до 24, де 1 відповідає 2001 р.,

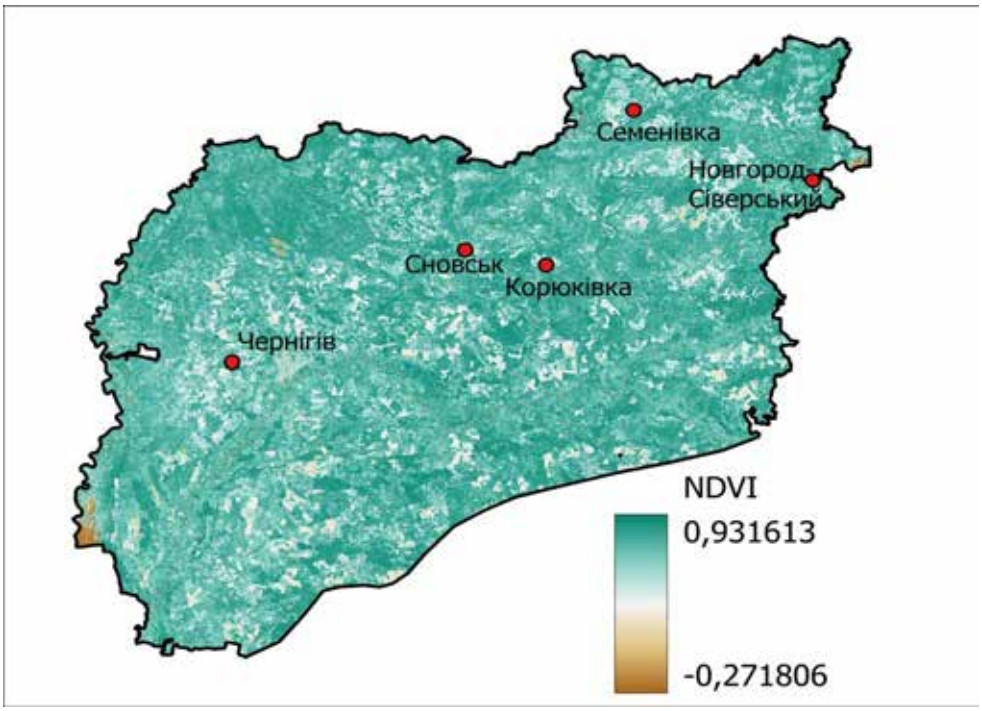


Рис. 1. Просторовий розподіл значень індексу NDVI у поліській частині Чернігівської області (за даними Sentinel-2, обробленими в QGIS) [1; 28]

а 24 – 2024 р.), що дало змогу аналізувати стан кожної ділянки відносно року виникнення змін.

Зональна статистика NDVI (Mean, Median, Stdev, Min, Max) розраховувалася для кожного полігону за кожен рік спостережень у середовищі QGIS. Подальший статистичний аналіз виконувався мовою Python 3 з використанням бібліотеки Pandas: полігони групувалися за роком змін, для кожної групи розраховувалися середнє арифметичне та стандартне відхилення значень NDVI за кожен рік спостережень. Додатково проведено порівняльний аналіз між типами втрат (пожежі, рубки) та між часовими групами (2001–2010, 2011–2015, 2016–2021, 2022–2024 рр.).

Виклад основного матеріалу. Досліджувана територія згідно фізико-географічного районування відноситься до фізико-географічної областей – Чернігівського та Новгород-Сіверського Полісся [31].

Згідно геоботанічного районування, регіон знаходиться в Європейській широколистянолісовій області Східноєвропейської провінції хвойно-широколистяних та широколистяних лісів Лівобережнополіського округу дубово-соснових, дубових, соснових лісів, заплавних луків і евтрофних боліт [32].

Таке фізико-географічне положення визначає специфіку формування лісового покриву регіону, структура якого зумовлена насамперед едафічними, гідрологічними та кліматичними умовами. На досліджуваній території переважають хвойні та мішані ліси з домінуванням соснових насаджень, значну частку займають дубові, березові та вільхові ліси.

Для оцінювання особливостей відновлення лісового покриву в межах досліджуваної території проведено аналіз часових рядів NDVI для ділянок, що зазнали змін у 2001–2024 роках. Отримані результати дозволили встановити просторово-часові закономірності відновлення лісової рослинності після рубок і пожеж.

За результатами проведеного аналізу у період 2001-2024 років зафіксовано значну просторову та часову нерівномірність втрат лісового покриву регіону. За даними аналізу, найбільший обсяг визначених ділянок припадає на 2016 рік, які сформовані після рубок різного типу – 10304 одиниць, за 2010-2011 роки – 8 673 та 9546 одиниць відповідно та у 2006 році – 8433 одиниці. Ділянки, які сформовані внаслідок пожеж різного генезу складають у 2012 році – 1 599 одиниць та у 2009 році – 414 одиниці відповідно. Загальна кількість проаналізованих ділянок спричинених рубками різного типу – понад 148000 одиниць, внаслідок пожеж – 8068 одиниці.

За час повномасштабної військової агресії, зокрема за період 2022-2024 років, програмно встановлено 125 вигорілих ділянок за 2022 рік, 385 – у 2023 році, 380 – у 2024 році, після рубок відмічено 5450, 5275 та 4857 ділянок за 2022, 2023 та 2024 рік відповідно. Збільшення кількості втрат лісового покриву внаслідок пожеж у 2023–2024 роках у порівнянні з 2022 роком свідчить про підвищення інтенсивності бойових дій, які є першопричиною формування лісових пожеж в регіоні внаслідок обстрілів, детонації нерозірваних боєприпасів, вибухонебезпечних предметів, тощо.

Динаміка показника NDVI після пожеж

Вигорілі ділянки у 2001–2010 роках, характеризуються найбільш стабільними та найвищими значеннями показника NDVI впродовж усього аналізу за період 2016–2025 років. Середній показник NDVI для цієї групи у 2016 році становив 0,738–0,812 одиниць, у 2025 році – 0,723–0,807 одиниці. Відносна стабільність або незначні коливання показника свідчать про досягнення піку відновлення лісового покриву та формування молодого зімкнутого деревостану (Рис 2.).

Виняток становлять ділянки, які вигоріли у 2009 році, показник NDVI яких за 2016 та 2025 роки становив 0,625 та 0,705 одиниці відповідно. Порівняно нижчі значення можуть пояснюватися більшою інтенсивністю та площею пожеж за попередній період, а також специфікою лісорослинних умов.

Загалом для ділянок 2001–2010 років спостерігається позитивна динаміка показника NDVI у 2022–2025 роках порівняно з 2016–2019 роками, що вказує на подальше природнє поновлення лісового покриву. Середній приріст показника NDVI для цієї групи за 2016–2025 роки становить від 0,002 до 0,025 одиниць (Табл. 1).

Ділянки, які вигоріли у 2011–2015 роках, у 2016 році (через 1-5 років після пожеж) мали суттєво нижчі значення NDVI на рівні 0,634–0,769 одиниць у порівнянні з початковим етапом. Протягом 2016–2025 років для них зафіксовано чітку висхідну тенденцію, коли значення NDVI у середньому зростало на 0,010–0,025 одиниць на рік. До 2025 року показник для цієї групи ділянок досяг значень на рівні 0,700–0,726 одиниць, що свідчить про активне природнє поновлення лісового покриву з формуванням молодого деревостану.

Особливу увагу привертають вигорілі ділянки у 2012 році, на яких відведено найбільшу кількість полігонів – 1 599. У 2016 році їх показник NDVI становив 0,724 одиниць, однак у 2022 році спостерігалося незначне зниження до 0,663 одиниці, що ймовірно, пов'язано з початком бойових дій та їх безпосередніми наслідками у перші місяці повномасштабного вторгнення.

Група вигорілих ділянок, які зазнали змін у 2016–2021 роках, демонструють найбільше зростання показника NDVI. Це пояснюється тим, що у 2016–2017 роках за допомогою супутникових знімків їх безпосередній стан зафіксовано одразу після змін, тоді як космознімки до 2025 року відображають період активного відновлення даних територій. Таким чином, можна констатувати, що у рік змін

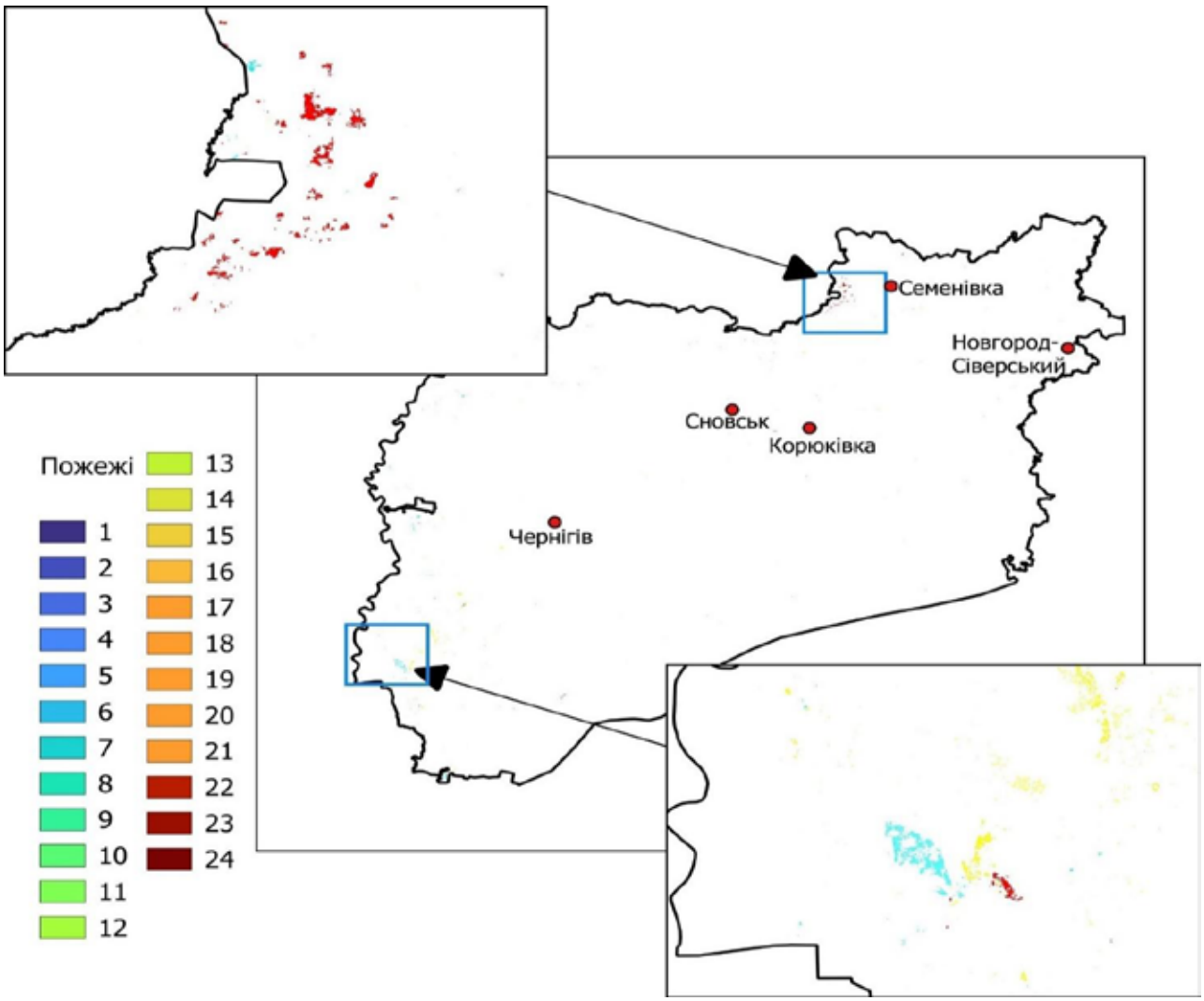


Рис. 2. Просторово-часовий розподіл досліджуваних ділянок після пожеж у поліській частині Чернігівської області (за даними Global Forest Watch, обробленими в QGIS) [2; 28]

Таблиця 1

Динаміка показника NDVI після пожеж і рубок за даними 2016, 2022 та 2025 років

Період	Пожежі (2016 р.)	Пожежі (2022 р.)	Пожежі (2025 р.)	Рубки (2016 р.)	Рубки (2022 р.)	Рубки (2025 р.)
2001–2005 рр.	0,752	0,742	0,738	0,786	0,770	0,768
2006–2010 рр.	0,736	0,751	0,761	0,779	0,768	0,767
2011–2015 рр.	0,698	0,698	0,717	0,733	0,741	0,757
2016–2021 рр.	0,748	0,631	0,659	0,785	0,695	0,726
2022 р.	0,788	0,525	0,592	0,820	0,656	0,727
2023 р.	0,768	0,651	0,586	0,808	0,753	0,697
2024 р.	0,775	0,746	0,590	0,808	0,773	0,667

лісового покриву показник NDVI різко падає (для пожеж часто нижче 0,60 одиниць), після чого поступово зростає в наступні роки.

Показник NDVI для ділянок після пожеж у 2019 році становив 0,570 одиниці, які до 2025 року відновились до 0,649 одиниці, а ділянки 2020 року, показник NDVI яких становив 0,517, відновилися до 0,587 одиниць у 2025 році, що свідчить про ще незавершений процес відновлення у період 5-6 років після вигоряння.

Для вигорілих ділянок 2017–2018 року характерне помітне зростання показника NDVI, особливо в період 2021–2025 років, що є співставним з періодом 4–8 року сукцесії, що за проведеним аналізом

космознімків підтверджуються активним зімкненням трав'яно-чагарникового ярусу та формуванням молодого деревостану.

Рослинний покрив на вигорілих ділянках за період повномасштабного вторгнення за даними аналізу знаходиться у найбільш критичному стані. Середнє значення NDVI у 2022 році, на який припало вигоряння становить 0,525, з урахуванням того, що до 2022 року ці ділянки мали NDVI на рівні 0,788, можна констатувати, що показник знизився на 0,263 одиниці або ж приблизно на 33%. У 2023 р. показник NDVI становить 0,542, у порівнянні з попереднім показником у 2022 р на рівні 0,651 – значення знизилося на 0,109 одиниці. У 2024 р. показник NDVI становив 0,604, у порівнянні з показником 2023 р. – 0,665, зниження відбулося на 0,061 одиниці.

Динаміку відновлення після пожеж до 2025 року можна охарактеризувати відносно повільною. Ділянки після пожеж у 2022 році досягли показника NDVI лише на рівні 0,592, ділянки 2023 р. – 0,586, а ділянки 2024 р. – 0,590, що в останньому випадку відображає майже нульовий приріст за один рік після вигоряння. Прогнозуючи, можна констатувати, що при відсутності повторних деградаційних змін, відносно повне відновлення цих ділянок може тривати 15–25 років.

Слід зазначити, що відносно невисоке значення показника NDVI на рівні 0,525 в рік у період вигоряння в 2022 році частково пояснюється тим, що аналіз за 2022 рік формувався за знімками, отриманими до, під час і після пожежі, що дещо занижує реальну оцінку падіння показника у безпосередньому стані даних територій після вигорання.

Динаміка показника NDVI після рубок

Проведений аналіз виявив суттєву відмінність рубок різного типу над пожежами за показником NDVI у всіх досліджуваних часових рядах. Для ділянок 2001–2010 років у 2025 р. середній показник NDVI після рубок становить на рівні 0,769–0,786, тоді як для пожеж – 0,723–0,807. Однак ключовою відмінністю є стабільність рівномірного та прогнозованого відновлення без різких відхилень лісових територій, про що свідчать показники NDVI (Рис. 3.).

Найбільш виразна відмінність спостерігається за період повномасштабних бойових дій. Ділянки рубок у 2022 році мали показник NDVI на рівні 0,656 одиниць, що на 0,131 вище, ніж при пожежах різного генезу – 0,525 одиниць, а у 2025 році – 0,727 одиниці проти 0,592. Таку різницю можна пояснити принципово різним характером впливу на досліджувані території. Після рубок, попри видалення деревостану, зберігається моховий ярус, підлісок та кореневі системи дерев, що в свою чергу забезпечує активне відновлення трав'яно-чагарникового ярусу та швидке поновлення піонерних видів деревних рослин. Пожежі, в тому числі верхові, знищують увесь рослинний покрив, завдають пошкодження гумусовому шару ґрунту, що суттєво сповільнює процеси первинної сукцесії.

Території після рубок у період повномасштабного вторгнення характеризуються більш задовільним станом у порівнянні з територіями після пожеж, проте за показниками також відстають від норми відновлення. Характерно, що території після рубок за 2022 рік у 2025 році відновились до 0,727 одиниць NDVI, що є прийнятним рівнем для трирічного відновлення після рубок. Ділянки після рубок у 2024 році, станом на 2025 рік мають показник NDVI на рівні 0,667 одиниць, що є дещо нижчим, ніж аналогічний показник за 2016, коли показник NDVI становив приблизно 0,68–0,72 одиниць. Це може свідчити про недотримання норм лісовідновлювальних заходів в умовах дії воєнного стану та обмежених можливостей для доступу до пошкоджених територій задля їх відновлення.

Прогноз відновлення лісового покриву

Таким чином, до 2035 року більшість ділянок, які зазнали змін у 2016–2021 роках досягнуть значень показника NDVI на рівні або більше 0,70–0,75 одиниць, що буде свідчити про формування зімкнутого молодого деревостану. Ділянки 2001–2010 років ймовірно сформують стиглі ліси з показником NDVI більше 0,78–0,82 одиниць. Деградовані ділянки 2022–2024 років залишатимуться в стані активного відновлення до 2035–2040 років навіть за оптимістичного сценарію завершення бойових дій.

Для вигорілих та деградованих ділянок внаслідок військових дій за період 2022–2024 років можна сформувати три варіанти прогнозованої динаміки відновлення:

1. Відсутність повторних змін, активне лісовідновлення. За умови відсутності повторних пожеж та деградаційних змін внаслідок обстрілів, очищення та розмінування даних територій, проведення санітарних рубок, лісокультурних заходів та за рахунок природнього поновлення можна очікувати у найближчі 5 років (2027–2030 роки), що показник NDVI для ділянок 2022 року досягне значення в 0,65–0,70 одиниць, через 10 років (2032–2035 роки) – 0,72–0,77 одиниць, через 15–20 років – 0,75–0,82 одиниць, тобто рівня, який характерний для ділянками 2001–2010 років станом на 2025 рік. Проте, даний сценарій є малоймовірним через продовження бойових дій.

2. Природне відновлення без активного залучення антропогенного чинника. При природній сукцесії без цілеспрямованих лісовідновлювальних заходів відновлення сповільнюється приблизно в 1.3–1.8 рази. Досягнення показника NDVI більше 0,75 одиниць очікується через 20–30 років для вигорілих ділянок та через 15–20 років – для рубок.

3. Повторні деградаційні зміни, продовження бойових дій. При повторних пожежах або постійному антропогенному навантаженні частина ділянок може перейти у стадію деградованих земель з пере-

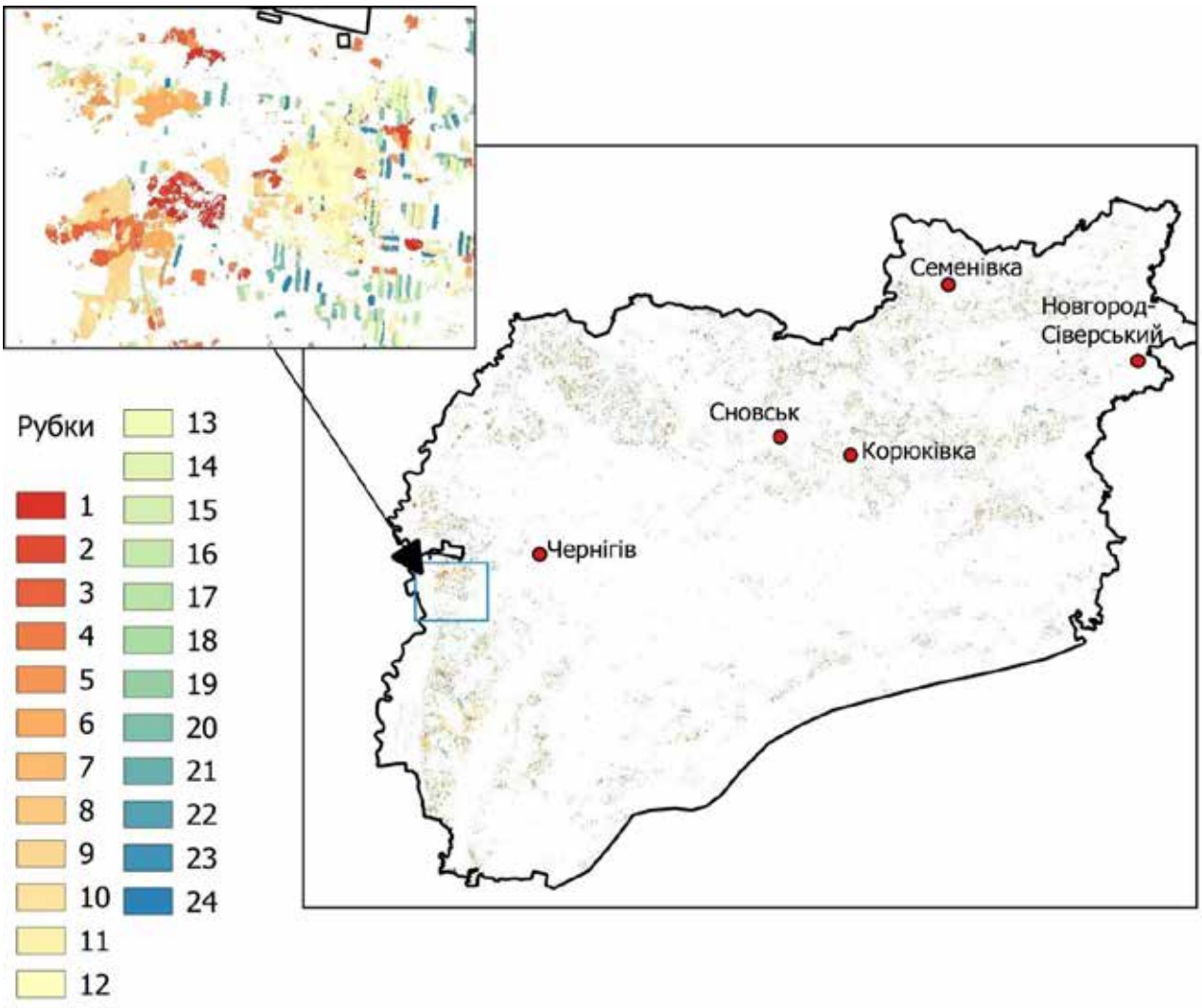


Рис. 3. Просторово-часовий розподіл досліджуваних ділянок після рубок у поліській частині Чернігівської області (за даними Global Forest Watch, обробленими в QGIS) [2; 28]

важанням участі швидкорослих піонерних видів рослин у трав'яному та чагарниковому ярусі замість деревостану. Деякі ділянки 2022–2024 років з дуже низьким показником NDVI, подекуди нижче 0,50 одиниць та за рахунок постійних обстрілів, можуть не досягти попереднього стану без проведення спеціальних лісовідновлювальних заходів (Табл. 2.).

Критичним фактором при прогнозуванні є невизначений масштаб деградації лісових територій внаслідок військових дій. Попередньо, до 20-30 % лісових територій можуть бути виключені з лісогосподарського обігу на 10-30 років на період робіт з розмінування та проведення лісовідновлювальних і господарських заходів.

Незважаючи на отримані результати, представлений аналіз має ряд методологічних обмежень, які необхідно враховувати при інтерпретації результатів:

1. Відсутність вихідного значення показника NDVI для кожного окремого полігону, що в свою чергу не дає змоги точно розрахувати індивідуальний відсоток відновлення для окремо взятої ділянки, замість цього використовуються групові середні показники за рахунок чого знижується точність аналізу.

2. Відсутність точного зафіксованого моменту змін досліджуваних лісових територій у часових рядах, особливо для ділянок 2022–2024 років з тривалими або повторюваними пожежами.

3. Відсутність знімків за 2018 рік у представленому аналізі є некритичною, проте помітною прогалиною у часовому ряді.

4. Векторні шари змін лісового покриву не розрізняють ступінь інтенсивності та типи пожеж і рубок, що є важливим фактором для прогнозування відновлення досліджуваних територій.

Головні висновки. На основі аналізу часових рядів NDVI, сформованих за супутниковими даними Sentinel-2 за 2016–2025 роки, для ділянок із відомим роком втрати лісового покриву (2001–2024 рр.),

Таблиця 2

Стадії відновлення лісового покриву залежно від типу та давності змін за значеннями NDVI (станом на 2025 р.)

Роки змін лісового покриву	Вік станом на 2025 р.	Показник NDVI пожеж (2025 р.)	Показник NDVI рубок (2025 р.)	Стан вигорілих ділянок	Стан ділянок після рубок
2001–2010 рр.	15-24 років	> 0,74	> 0,76	Високий рівень відновлення	Високий рівень відновлення
2011–2015 рр.	10-14 років	0,63–0,70	0,68–0,73	Активне відновлення	Швидке відновлення
2016–2021 рр.	4-9 років	0,60–0,81	0,65–0,82	Часткове відновлення	Помірне відновлення
2022–2024 рр.	1-3 роки	0,53–0,66	0,59–0,73	Початкова стадія	Початкова стадія

встановлено чіткий зв'язок між типом, давністю та інтенсивністю змін лісового покриву і його сучасним станом. Ділянки, що зазнали змін у 2001–2010 роках, досягли високого рівня відновлення, а значення NDVI у 2025 році становили 0,74–0,81. Натомість території, які зазнали змін у 2022–2024 роках, перебувають на початковій стадії відновлення, для яких значення NDVI у 2025 році становили 0,59–0,73.

Встановлено, що відновлення лісового покриву після рубок відбувається швидше, ніж після пожеж. Значення NDVI на ділянках після рубок були у 1,2–1,6 рази вищими порівняно з територіями, пошкодженими пожежами, що, ймовірно, пов'язано зі збереженням ґрунтового покриву, мохового ярусу, підліску та чагарникової рослинності. Найбільші відмінності простежуються протягом 3–7 років після виникнення змін.

Отримані результати свідчать, що втрати лісового покриву, спричинені бойовими діями у 2022–2024 роках, зумовили найбільш суттєве зниження значень NDVI за весь період досліджень. Для територій, пройдених пожежами у 2022 році, середнє зниження NDVI становило 0,263 одиниці, тоді як за три роки (до 2025 року) показник збільшився лише на 0,067 одиниці, що відповідає менш ніж 26 % від початкових втрат.

Орієнтовний час відновлення лісового покриву на територіях, що зазнали впливу бойових дій, становить 15–25 років для ділянок, пошкоджених пожежами, та 12–20 років для територій після рубок за умови відсутності повторних деградаційних змін і додаткового негативного впливу, пов'язаного із забрудненням територій внаслідок бойових дій.

Дослідження підтвердило ефективність використання багаторічних часових рядів NDVI, сформованих на основі супутникових даних Sentinel-2, у поєднанні із зональною статистикою векторних шарів для регіонального моніторингу стану лісових екосистем. Перспективними напрямами подальших досліджень є використання безперервних часових рядів Landsat + Sentinel-2, розрахунок індивідуального базового рівня (Baseline NDVI) для окремих ділянок та інтеграція оптичних супутникових даних із даними SAR і LiDAR.

Перспективи використання результатів. Отримані результати дослідження є науковою основою для обґрунтування лісовідновлювальних заходів у найбільш пошкоджених лісових масивах у повоєнний період, особливо на територіях, розташованих у 20-кілометровій прифронтовій зоні, де лісові екосистеми зазнали найбільших змін унаслідок бойових дій.

Важливим напрямом застосування отриманих результатів є створення та впровадження системи дистанційного моніторингу. Така система може охоплювати як окремі лісові ділянки, так і лісовий покрив регіону в цілому, що забезпечить оперативне отримання даних в умовах повномасштабних бойових дій, а також супутніх ризиків і обмежень доступу до визначених територій.

Результати дослідження м*ожуть бути використані для оцінювання та підвищення ефективності лісогосподарських заходів, що здійснюються філіями ДП «Ліси України». Це дасть змогу вдосконалити планування господарської діяльності та забезпечити більш раціональне використання лісових ресурсів.

Окремим напрямом є оптимізація меж і режимів охорони лісових об'єктів природно-заповідного фонду. Дистанційний моніторинг у поєднанні з класичними дослідженнями забезпечать підвищення ефективності щодо заходів збереження біорізноманіття та підвищення стійкості природних комплексів.

Крім того, результати дослідження можуть бути використані для розроблення регіональних нормативів лісовідновлення з урахуванням природно-кліматичних особливостей регіону та антропогенного впливу на лісові екосистеми Лівобережного Полісся. Це створить підґрунтя для впровадження адаптивних підходів до відновлення лісів у сучасних умовах лісокористування.

Література

1. Sentinel-2. Copernicus Sentinel Missions. URL: https://dataspace.copernicus.eu/data-collections/copernicus-sentinel-missions/sentinel-2 (дата звернення: 19.05.2026).
2. Global Forest Watch 2026. URL: https://www.globalforestwatch.org (дата звернення: 22.05.2026).
3. Google Earth 2026. URL: https://earth.google.com/web/ (дата звернення: 25.05.2026).
4. Forkel M., Carvalhais N., Verbesselt J., Mahecha M. D., Neigh C. S. R., Reichstein M. Trend Change Detection in NDVI Time Series: Effects of Inter-Annual Variability and Methodology. *Remote Sensing*. 2013. 5(5). P. 2113-2144. https://doi.org/10.3390/rs5052113
5. Nguyen T. H., Jones S. D., Soto-Berelov M., Haywood A., Hislop S. A spatial and temporal analysis of forest dynamics using Landsat time-series. *Remote Sensing of Environment*. 2018. 217. P. 461-475. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.028
6. Kennedy R. E., Yang Z., Cohen, W. B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr – Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*. 2010. 114(12). P. 2897-2910. https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008
7. Kurnaz B., Bayik C., Abdikan S. Forest Fire Area Detection by Using Landsat-8 and Sentinel-2 Satellite Images: A Case Study in Mugla, Turkey. *Research Square*. 2020. P. 1-16. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-26787/v1
8. Pelc-Mieczkowska R. The Application of Sentinel-2 Data for Automatic Forest Cover Changes Assessment – Białowieża Primeval Forest Case Study. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2021. 31(4). P. 148-166. https://doi.org/10.2478/ceer-2021-0054
9. Ács N., Heil B., Szász B., Folcz Á., Preisinger M., Sándor G., Czimber K. Two-Phase Forest Damage Assessment with Sentinel-2 NDVI Double Differencing and UAV-Based Segmentation in the Sopron Mountains. *Remote Sensing*. 2026. 18(5). 803. https://doi.org/10.3390/rs18050803
10. Shimizu K., Ota T., Mizoue N. Accuracy Assessments of Local and Global Forest Change Data to Estimate Annual Disturbances in Temperate Forests. *Remote Sensing*. 2020. 12(15). 2438. https://doi.org/10.3390/rs12152438
11. Wang L., Liu S., Song W., Ding S., Zhang J. Global high-resolution forest disturbance type dataset. *Earth Syst. Sci. Data*. 2026. 18. P. 1601-1617, https://doi.org/10.5194/essd-18-1601-2026
12. Pflugmacher D., Cohen W. B., Kennedy R. E., Yang Z. Using Landsat-derived disturbance and recovery history and lidar to map forest biomass dynamics. *Remote Sensing of Environment*. 2014. 151. P. 124-137. https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.033
13. Smith-Tripp S., Coops N., Mulverhill C., White J., Gergel S. Post-fire structural forest recovery associated with climate extremes in dry sub-boreal forests. *Landsc Ecol*. 2026. 41. 14. https://doi.org/10.1007/s10980-025-02266-y
14. Бідолах Д.І. Геоінформаційний моніторинг стану зелених насаджень із використанням методів дистанційного зондування. *Український журнал лісівництва та деревинознавства*. 2020. 11(2). С. 4-14. https://doi.org/10.31548/forest2020.02.004
15. Бурштинська Х.В., Поліщук Б.В., Ковальчук О.Ю. Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення. *Геодезія, картографія і аерофотознімки*. 2013.78. С. 101-110.
16. Глух О.С., Симканич О.І., Качаєв В.М., Глюдзик Е.І. Зміна NDVI-індексу Карпатського регіону України протягом 2000-2022 років. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія*. 2023. 1(49). С. 62-67. https://doi.org/10.24144/2414-0260.2023.1.62-67
17. Жуков О.В., Гофман О.П. Аналіз часових рядів показника NDVI рослинності Великого Чапельського поду за 2010–2015 рр. *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*. 2016. 184. С. 40-46.
18. Ліщенко Л.П. Супутниковий моніторинг стану геосистеми локального рівня на прикладі Матвіївського лісу поблизу м. Миколаєва (Україна). *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2023. 10(2). С. 27–34. https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.2.228
19. Лутців Н.Г., Чухна П.В. Використання геоінформаційних систем як інноваційних інструментів стратегії розвитку та підвищення ефективності діяльності суб'єктів лісового господарства. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2024. 27. С. 150-157. https://doi.org/10.15421/412422
20. Мельник А.А., Ячнюк М.О. Застосування геоінформаційних технологій для спостереження за лісовим покривом. *Науковий вісник ХДУ. Серія Географічні науки.* 2022. № 16. С. 32-39. https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2022-16-3
21. Слободяник М.П. Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу лісових ресурсів. *Вісник геодезії та картографії*. 2014. 1(88). С. 27- 31.
22. Тищенко О.Г., Півовар П.В., Цидик Н.М. Оцінка впливу наслідків природних пожеж на лісові екосистеми за даними космічного знімання і таксаційного обстеження лісових насаджень. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2024. Вип. 2(30). С. 72-83. https://doi.org/10.31717/2311-8253.24.2.8
23. Цуняк А.М., Часковський О.Г., Король М.М. Розподіл наземного вкриття Стрийсько-Сянської Верховини на основі супутникових знімків LANDSAT. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. 23(14). С. 27-32
24. Шпурик В.В., Бандурка О.І. Інформаційна система аналізу антропогенного впливу на стан лісових насаджень. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021. 3(72). С. 25-36. https://doi.org/10.31673/2412-4338.2021.032536
25. Яковенко О.І. Геоінформаційний аналіз змін лісової рослинності лесових «островів» Чернігівського Полісся. *Biota. Human. Technology*. 2023. 2. С. 31-40. https://doi.org/10.58407/bht.2.23.3
26. Крайнюк О., Буц Ю., Барбашин В., Нікітченко О., Сухов В. Деградація екосистем у Харківській області під час війни: супутниковий аналіз. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2024. (61). С. 329-343. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-26
27. Асмаковський Є. В. Аналіз масштабу лісових пожеж за квітень-травень 2026 року у 20-ти кілометровій прифронтовій зоні Чернігівської області та їх прогнозований вплив на природно-заповідні території регіону. *One World – One Health*. Third International Scientific and Practical Conference (June 10–11, 2026, Chernihiv, Ukraine.). Чернігів: Видавництво «Десна Поліграф». 2026. С. 39-43.

28. QGIS. Spatial without Compromise. QGIS Version 3.44. URL: https://qgis.org/uk/site/ (дата звернення: 28.05.2026).
29. Hansen M.C, Potapov P.V, Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*. 2013. 342(6160). P. 850-853. https://doi.org/10.1126/science.1244693
30. Tyukavina A., Potapov P., Hansen M.C., Pickens A., Stehman S., Turubanova S., Parker D., Zalles V., Lima A., Kommareddy I., Song X-P, Wang L., Harris N. Global trends of forest loss due to fire, 2001-2019. *Frontiers in Remote Sensing*. 2022. 3:825190. https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190
31. Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *Український географічний журнал*. 2003. № 1. С. 16-20.
32. Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал*. 2003. Т. 60, № 1. С. 6-17.

Дата першого надходження статті до видання: 17.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026