

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ лісового і садово-паркового господарства

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

завідувач кафедри таксації лісу
та лісового менеджменту

Андрій БІЛОУС

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

_____ 20 ____ р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Використання картографічного сервісу *Copernicus* для оцінки змін
лісового покриву**

Спеціальність 205 – Лісове господарство

(код і назва)

Гарант освітньої програми

кандидат с.-г. наук, доцент

_____ (науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Наталія ПУЗРІНА

_____ (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

кандидат с.-г. наук, доцент

_____ (науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Андрій ТЕРЕНТЬЄВ

_____ (ПІБ)

Виконав

Олег БОБРО

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

КИЇВ 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ лісового і садово-паркового господарства

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри таксації лісу
та лісового менеджменту
доктор с.-г. наук, проф.

Андрій БІЛОУС

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

_____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Бобро Олегу Олексійовичу

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 205 – Лісове господарство

_____ (код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Використання картографічного сервісу Sorernus для оцінки змін лісового покриву

Затверджена наказом ректора НУБіП України від 17.03.2025 р. № 382 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 02.05.2025

_____ (рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: проект організації та розвитку лісового Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс ДП «Ліси України», Sorernicus».

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Проаналізувати літературні джерела щодо предмету дослідження.
2. Описати коротку характеристику підприємстві та методику проведення досліджень.
3. Зробити оцінку змін лісового покриву.

Дата видачі завдання 20.05.2024 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Андрій ТЕРЕНТЬЄВ

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

Олег БОБРО

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Випускна бакалаврська кваліфікаційна робота виконана на 51 аркушах друкованого тексту та містить вступ, 3 розділи, висновки та рекомендації виробництву, список використаних літературних джерел. Робота проілюстрована 2 таблицями та 17 рисунками..

У бакалаврській роботі використано матеріали Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» ДП «Ліси України» та екосистему Data Space Copernicus як інформаційну базу дослідження. На основі відкритих даних проведений візуальний аналіз змін лісового покриву за різні роки, відмічено зміни, зокрема заліснення територій та суцільні рубки.

Вступна частина роботи окреслює актуальність обраної теми, визначає мету та завдання дослідження, обґрунтовує методологічний інструментарій та розкриває практичну значущість отриманих результатів. Огляд літератури присвячений теоретичному осмисленню основних термінів та понять, пов'язаних із дистанційним моніторингом змін на основі відкритих даних.

Другий розділ роботи містить всебічний аналіз об'єкта дослідження, включаючи його загальну характеристику та детальний опис структурної організації. Особливу увагу приділено вивченню природно-кліматичних та лісорослинних умов, які формують специфічне середовище для росту та розвитку лісових насаджень.

Третій розділ представляє результати візуального моніторингу тестової ділянки надлісництва. Зокрема наводиться детальний опис динаміки змін за роками з 2017 по 2024 роки. Особлива увага приділена ідентифікації ділянок на яких відбулись зміни та відмічений характер цих змін.

Практична цінність отриманих результатів досліджень полягає у використанні сервісу Copernicus, що дозволяє швидко та достовірно виявляти зміни лісового покриву, що є особливо цінним для фахівців у галузі лісового господарства, охорони довкілля та природокористування. Результати дослідження можуть бути впроваджені у практику екологічного моніторингу, лісовпорядкування та для оцінки впливу господарської діяльності на ліси. Крім

того, застосування супутникових даних сприяє підвищенню ефективності управлінських рішень, пов'язаних із збереженням та відновленням лісових ресурсів. Отримані результати мають як наукову, так і прикладну цінність, забезпечуючи базу для подальших досліджень змін у лісових екосистемах.

ВСТУП

Актуальність. Оцінка змін лісового покриву є важливою складовою ефективного управління лісовими ресурсами. У контексті глобальних змін клімату, антропогенного навантаження та необхідності забезпечення сталого розвитку зростає потреба у високоточному, оперативному та доступному інструменті моніторингу стану лісів. Сучасні геоінформаційні технології та супутникові сервіси, зокрема картографічний сервіс Copernicus, відкривають нові можливості для аналізу динаміки лісового покриву у просторі та часі. Їх застосування сприяє прийняттю науково обґрунтованих рішень у сфері лісокористування, охорони природи та екологічного моніторингу. Саме тому дослідження ефективності використання сервісу Copernicus має як наукове, так і практичне значення.

Мета – оцінити зміни лісового покриву на основі супутникових даних картографічного сервісу Copernicus та проаналізувати їх у динаміці.

Головні завдання: проаналізувати сучасні джерела літератури щодо використання супутникового моніторингу у лісовому господарстві; вивчити функціональні можливості сервісу Copernicus; зібрати та обробити супутникові дані про зміни лісового покриву; здійснити оцінку просторово-часової динаміки лісового покриву за допомогою геоінформаційного аналізу.

Об’єкт дослідження – територія лісового фонду, охоплена супутниковим моніторингом сервісу Copernicus.

Предмет дослідження – зміни лісового покриву, виявлені за супутниковими знімками у різні часові періоди.

Методика дослідження. У дослідженні використовувались відкриті супутникові дані програми Copernicus, зокрема продукти Sentinel-2, які надають багатоспектральні знімки високої просторової роздільності. За допомогою інструментів дистанційного зондування Землі та ГІС-аналізу було проведено картографування лісового покриву та виявлення його змін у часовій

перспективі. Для моніторингу змін територій застосовувалися методи візуального спостереження серії знімків території за різні роки.

Ключові слова. Лісовий покрив, дистанційний моніторинг лісів, Copernicus, Sentinel-2, багатоспектральні знімки, ГІС.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Дистанційний моніторинг змін лісового покриву є критично важливою технологією в сучасних умовах для управління лісовими ресурсами та охорони довкілля. Особливо актуальною данна технологія виявилась в умовах обмеженого доступу до частини лісових територій. Використання супутникових знімків, аерофотозйомку та геоінформаційні системи, цей підхід дозволяє оперативно відстежувати динаміку змін лісових масивів, виявляти незаконні вирубки, пожежі, хвороби дерев та інші загрози для лісових екосистем на великих територіях. Завдяки автоматизованому аналізу даних та машинному навчанню, дистанційний моніторинг забезпечує точну та своєчасну інформацію для прийняття обґрунтованих рішень щодо збереження та відновлення лісів, що особливо актуально в контексті глобальних кліматичних змін та зростаючого антропогенного тиску на природні екосистеми.

Так у дослідженні, присвяченому оцінці втрат лісового покриву в Українських Карпатах, здійснено аналіз супутникових даних відкритих джерел, зокрема Global Forest Change. У межах роботи проаналізовано динаміку змін лісового покриву в межах Сколівських Бескидів за період з 2000 по 2019 роки. Особливу увагу приділено просторовому розміщенню ділянок, на яких спостерігалися втрати, а також оцінено масштаб і структуру цих змін. Отримані результати дозволяють виявляти критично важливі території для подальшого моніторингу і лісовідновлення, а також дають змогу застосовувати дистанційні методи для вивчення екологічного стану регіону [7].

У науковій роботі, присвяченій застосуванню космічних методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), обґрунтовано їхню актуальність і ефективність для вирішення широкого спектра завдань у сфері лісового господарства. Детально проаналізовано сучасні технології отримання, дешифрування та інтерпретації супутникових знімків у контексті лісооблікових процесів. Особливий акцент зроблено на виявленні суцільних і вибіркового

рубок, динаміці змін лісового покриву, оцінюванні стану лісових екосистем, а також здійсненні контролю за веденням лісового господарства. Наголошено на доцільності розроблення уніфікованих методологічних підходів до обробки даних дистанційного зондування та інтеграції результатів у національні інформаційно-аналітичні системи лісового обліку. [1].

На основі супутникових знімків LANDSAT здійснено аналіз просторового розподілу типів наземного покриву в межах Стрийсько-Сянської височини. Застосування методів класифікації дозволило виокремити основні категорії ландшафтного покриву: лісові масиви, сільськогосподарські угіддя, водні об'єкти тощо. Просторова деталізація в поєднанні з багатоспектральними даними дає змогу оцінювати зміни в екосистемах регіону та здійснювати порівняльну оцінку антропогенних і природних факторів, що впливають на структуру ландшафту [6].

Матеріали дослідження, проведеного на прикладі Житомирського Полісся, демонструють можливості дистанційного моніторингу лісового фонду за допомогою супутникових знімків. Робота включає порівняння змін лісового покриву за кілька сезонів, що дозволяє фіксувати факти суцільних вирубок, зниження густоти деревостану та інші трансформації. Автори акцентують увагу на необхідності регулярного оновлення знімків і використання мультиспектрального аналізу для підвищення точності оцінки [2].

Оцінка результатів досліджень, присвячених визначенню площі лісових масивів, засвідчує високу узгодженість між даними, отриманими на основі глобальної карти змін лісового покриву (Global Forest Change) та супутникових знімків RapidEye. Проведений порівняльний аналіз демонструє високий ступінь кореляції між цими джерелами, що підтверджує їх потенціал для інтегрованого використання в системі державного лісового обліку. Зроблено висновок, що глобальні джерела дистанційного зондування можуть бути ефективним інструментом моніторингу лісів за умови врахування регіональних особливостей [3].

Інше дослідження стосується використання супутникових знімків Landsat ETM+ та QuickBird для оцінки таксаційних показників лісових насаджень. Методика базується на алгоритмах автоматизованої класифікації, що дозволяє визначити видову належність, густоту та структуру деревостанів. У роботі наведено результати порівняння польових і дистанційних вимірювань, що демонструє високу відповідність між ними. Застосування такої методики рекомендовано для інвентаризаційних та прогнозних задач у лісовому господарстві [5].

Pelc-Mieczkowska R. (2021) у своїй роботі «The Application of Sentinel-2 Data for Automatic Forest Cover Changes Assessment – Białowieża Primeval Forest Case Study» досліджує можливості автоматичного моніторингу змін лісового покриву на прикладі Біловезької пущі одного з найбільш цінних пралісових масивів Європи. У дослідженні застосовано супутникові знімки Sentinel-2, які були проаналізовані з використанням індексів вегетації NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) та ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index). Ці індекси дозволяють виявляти зміни у фотосинтетичній активності рослинного покриву. Особливу увагу авторка приділила виявленню ділянок зі значним зниженням вегетаційної активності, що може свідчити про антропогенні впливи, такі як вирубки, або про природну деградацію лісу. Методика оцінки базувалася на автоматизованому аналізі багатоспектральних даних, що дозволяє забезпечити високу точність при виявленні навіть незначних змін у структурі лісу. Результати дослідження демонструють ефективність використання супутникових технологій Sentinel-2 для цілей екологічного моніторингу, зокрема для контролю стану лісових екосистем і оперативного виявлення негативних змін. Робота також підкреслює потенціал автоматизованих систем дистанційного зондування у вивченні територій, які мають високу природоохоронну цінність [26].

У дослідженні «Estimating recent forest losses in Bosnia and Herzegovina by using the Copernicus and CORINE land cover databases», автори Drašković B. та співавтори (2021) зосередили увагу на оцінці масштабів втрати лісового

покриву в Боснії та Герцеговині за останні роки. Для досягнення цієї мети вони інтегрували два авторитетні джерела просторових даних: супутникову інформацію від програми Copernicus та базу CORINE Land Cover, яка містить багаторічні карти землекористування.

Поєднання цих джерел дозволило не лише уточнити просторове положення змін, а й підвищити надійність оцінки. Зокрема, дослідники проаналізували динаміку зміни лісового покриву за допомогою порівняльного аналізу картографічних шарів різних років, що охоплювали періоди до і після інтенсивних змін. Було виявлено суттєве зменшення площі лісів, яке переважно пов'язане з незаконними вирубками, розширенням сільськогосподарських угідь, інфраструктурним розвитком та іншими антропогенними чинниками.

Автори підкреслюють, що результати дослідження демонструють високу ефективність інтеграції супутникових та наземних баз даних для комплексного моніторингу змін у навколишньому середовищі. Такий підхід є надзвичайно важливим для прийняття рішень у сфері управління лісовими ресурсами та охорони довкілля в постконфліктних регіонах із високим тиском на природні ресурси [14].

У роботі «Vegetation indices monitoring by using Copernicus data in the old-growth forests of the Republic of Srpska/Bosnia and Herzegovina» Govedar Z. та Anikić N. (2024) досліджували стан лісових екосистем у пралісах Республіки Сербської (Боснія і Герцеговина) за допомогою супутникових знімків Sentinel-2, що надаються в межах програми Copernicus. Основна мета дослідження полягала в моніторингу рослинного покриву на основі аналізу спектральних вегетаційних індексів таких як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) та VARI (Visible Atmospherically Resistant Index).

Результати аналізу показали виразні відмінності між різними ділянками старовікових лісів, що може бути пов'язано з неоднаковим екологічним станом, віковою структурою насаджень, типом лісу та рівнем людського впливу. Наприклад, NDVI був вищим у вологіших та менш порушених ділянках, тоді як

SAVI продемонстрував високу ефективність при врахуванні ґрунтового впливу на спектральні показники. Виявлена варіативність індексів дозволила авторам зробити висновок про різні фази розвитку екосистем і їхню екологічну стабільність.

Це дослідження демонструє значну практичну користь супутникових даних Sentinel-2 у поєднанні з вегетаційними індексами для оцінки стану природних лісів без необхідності частого наземного моніторингу. Подібний підхід є особливо цінним для дослідження важкодоступних або охоронюваних територій [19].

У дослідженні «EuroSAT: A Novel Dataset and Deep Learning Benchmark for Land Use and Land Cover Classification» Helber P. та співавтори (2017) представили новий датасет під назвою EuroSAT, створений на основі зображень із супутника Sentinel-2, призначений для класифікації типів земного покриття та землекористування. Цей датасет охоплює 10 категорій ландшафтів, включаючи ліси, орні землі, водні об'єкти, міські території тощо, і налічує понад 27 000 зображень розміром 64×64 пікселі.

Однією з головних цілей роботи було створення загальнодоступної платформи для оцінки ефективності алгоритмів глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), у задачах автоматизованої класифікації супутникових зображень. Автори протестували кілька моделей CNN (у тому числі ResNet та GoogleNet) і продемонстрували, що високоточна класифікація можлива навіть на відносно невеликих ділянках супутникових знімків.

Цей підхід відкриває нові можливості для автоматизованого моніторингу лісових територій, оскільки забезпечує швидку та точну ідентифікацію змін земного покриття на великій території. Робота є важливим внеском у розвиток інструментів дистанційного зондування з використанням штучного інтелекту, що може значно підвищити ефективність екологічного моніторингу, зокрема у виявленні змін лісового покриття [22].

У оглядовій роботі «Methods for Mapping Forest Disturbance and Degradation from Optical Earth Observation Data» Hirschmugl M. та співавтори

(2017) систематизували сучасні підходи до моніторингу лісових порушень і деградацій на основі оптичних супутникових зображень. Основна увага приділяється використанню даних із супутника Sentinel-2, який забезпечує високу просторову та спектральну роздільну здатність, що робить його особливо придатним для виявлення змін у лісовому покриві.

Автори детально аналізують переваги методів, заснованих на аналізі часових рядів послідовності знімків, отриманих протягом певного періоду. Такий підхід дозволяє відстежувати динаміку змін у лісах з плином часу, включаючи вирубки, шкідливі впливи кліматичних чинників, пожежі чи хвороби дерев. У роботі також розглянуто різні індекси вегетації (NDVI, NBR тощо), алгоритми класифікації, а також методи машинного навчання, які використовуються для автоматичного виявлення змін.

Особливу увагу в огляді приділено порівнянню ефективності цих методів у різних природних умовах від тропічних до бореальних лісів. Робота має прикладне значення для органів лісового господарства, природоохоронних структур і науковців, оскільки дає змогу обрати найбільш відповідну методологію для моніторингу лісових екосистем із використанням оптичних супутникових даних, зокрема системи Copernicus [23].

У дослідженні «Sentinel-2 Data in an Evaluation of the Impact of the Disturbances on Forest Vegetation», опублікованому в журналі *Remote Sensing*, автори проаналізували вплив лісових порушень, спричинених спалахами короїда, на екосистеми національних парків Чехії та Словаччини. Основою аналізу стали супутникові знімки Sentinel-2 та індекси вегетації NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDMI (Normalized Difference Moisture Index) і TCW (Tasseled Cap Wetness).

Використання часових рядів даних дозволило точно ідентифікувати як уражені, так і стабільні ділянки лісу, а також простежити відновлювальні процеси після зниження популяції шкідника. Найбільш ефективним виявився індекс NDMI, який чутливо реагує на зміни вологості та загальний стан деревної рослинності. Таким чином, Sentinel-2 у поєднанні з відповідними

індексами довів свою високу ефективність у моніторингу екологічного стану лісів, особливо в умовах біотичних стресових факторів [21].

У 2023 році в межах ініціативи «Copernicus Global Land Cover and Tropical Forest Mapping and Monitoring Service» Європейська Комісія у співпраці з консорціумом під керівництвом VITO започаткувала чотирирічний проєкт зі створення нової глобальної служби моніторингу лісового покриву. Цей сервіс покликаний генерувати динамічні карти земного покриву з просторовою роздільною здатністю 10 метрів, охоплюючи період з 2020 до 2026 року.

Ініціатива базується на досвіді попередніх проєктів, зокрема ESA WorldCover та REDDCopernicus (Horizon 2020), і має на меті забезпечити послідовну, надійну та оперативну інформацію про стан лісів у глобальному масштабі. Така інформація є критично важливою для впровадження екологічних політик, зокрема Регламенту ЄС щодо продукції без вирубки лісів (EUDR) та механізму REDD+ для скорочення викидів від вирубки та деградації лісів у тропічних країнах. Сервіс Copernicus відіграє ключову роль у забезпеченні просторово точного, регулярного та репрезентативного картографування лісів у межах змін клімату та сталого розвитку [10].

У дослідженні «Automated Updating of Forest Cover Maps from Cloud-Free Sentinel-2 Mosaic Images Using Object-Based Image Analysis and Machine Learning Methods», опублікованому в журналі *ISPRS Annals*, автори запропонували ефективний підхід до автоматизованого оновлення карт лісового покриву на основі супутникових знімків Sentinel-2. Вони використали мозаїчні зображення без хмар, що є особливо цінним для регіонів із частою хмарністю, та застосували об'єктно-орієнтований аналіз зображень (OBIA) у поєднанні з методами машинного навчання.

Такий підхід дозволяє не лише покращити якість класифікації, а й враховувати структурні особливості лісових масивів, зменшуючи кількість помилкових класифікацій порівняно з піксельними методами. Алгоритми, такі як Random Forest і Support Vector Machine, були адаптовані для автоматичного

розпізнавання змін у лісовому покриві, що значно прискорює процес оновлення картографічних даних.

Цей метод є важливим інструментом у контексті довгострокового моніторингу лісів, забезпечуючи своєчасне оновлення інформації, необхідної для прийняття обґрунтованих рішень у сфері екологічного планування та управління лісовими ресурсами [29].

У статті «Observer: Monitoring the World's Forests with Copernicus Land», опублікованій на офіційному вебсайті програми Copernicus, висвітлюється роль Служби моніторингу земель Copernicus (CLMS) у забезпеченні відкритого доступу до детальних, високоякісних геопросторових даних про земне покриття. Зокрема, CLMS надає продукти, що спеціалізуються на моніторингу лісів, включаючи *Tree Cover Density* (щільність лісового покриву), *Dominant Leaf Type* (домінантний тип листя) та *Forest Type* (тип лісу).

Ці продукти створюються на основі регулярного аналізу супутникових знімків Sentinel, що дозволяє відстежувати зміни у структурі лісів з просторовою роздільною здатністю до 10–20 метрів і з оновленням щонайменше раз на рік. Такий рівень деталізації та актуальності робить дані особливо цінними для аналізу тенденцій у лісовому покриві, зокрема для виявлення деградації, сукцесійних змін, заміни типів деревних порід тощо.

Матеріали CLMS активно використовуються як на європейському, так і на глобальному рівнях для формування політик у сфері клімату, біорізноманіття, охорони лісів і просторового планування. Таким чином, Copernicus Land Monitoring Service виконує критично важливу функцію в екологічному моніторингу лісів світу [12].

У дослідженні «Forest Monitoring Study Reveals Future Copernicus Synergies», опублікованому на платформі *Sentinel Online*, проаналізовано можливості синергетичного використання даних з різних супутникових систем, зокрема Sentinel-1 (радарні знімки) і ALOS-2 (японська радіолокаційна місія) для покращення ефективності моніторингу лісових порушень.

Комбінування оптичних і радарних даних дало змогу значно підвищити точність виявлення змін у лісовому покриві до 38% у порівнянні з використанням одного джерела. Окрім цього, час виявлення порушень скоротився в середньому на 16 днів, що має критичне значення для швидкого реагування у випадках вирубок, пожеж або хвороб. Така інтеграція також дозволяє долати обмеження погодних умов, зокрема хмарності, що часто заважає отриманню якісних оптичних знімків. Результати дослідження демонструють важливість мультисенсорного підходу в рамках екосистеми Copernicus, відкриваючи нові перспективи для більш оперативного та надійного моніторингу лісів у глобальному масштабі [18].

Дослідники М. Іммітцер, Ф. Вуоло та К. Ацбергер у 2016 році опублікували результати дослідження, в якому вперше було апробовано супутникові дані Sentinel-2 для класифікації лісів та сільськогосподарських культур у Центральній Європі. Дослідження проводилося в рамках розширення можливостей програми Copernicus з оцінки земного покриву. Автори використали багатоспектральні зображення з високою просторовою роздільною здатністю (10–20 м) для розрізнення типів рослинного покриву, зокрема різних порід дерев. Отримані результати підтвердили високу точність виявлення лісового покриву, що дає змогу оперативно аналізувати зміни в лісових масивах, виявляти вирубки, деградацію або природне відновлення. Дослідження також демонструє ефективність поєднання супутникових даних Sentinel-2 із алгоритмами машинного навчання, що відкриває нові можливості для щорічного оновлення карт лісового покриву та моніторингу екологічного стану лісів в умовах кліматичних змін [24].

Проект «EvoLand: Evolution of the Copernicus Land Monitoring Service» ставиться за мету революціонізувати існуючі методи картографування в рамках Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), розширюючи його можливості за допомогою впровадження одинадцяти нових продуктів. Основна увага зосереджена на трансформації від періодичного створення статичних карт до безперервного моніторингу динаміки земного покриву.

Він використовує інноваційні технології, зокрема штучний інтелект, злиття багатьох типів супутникових даних (оптичні та радарні), обробку великих обсягів часових рядів даних відбиття поверхні (reflectance) та зворотного розсіювання (backscatter). Такі техніки дозволяють набагато точніше й оперативніше виявляти навіть незначні зміни у стані лісового покриву, що важливо для оцінки деградації, незаконної вирубки або інших антропогенних впливів.

Окремий фокус EvoLand зосереджений на картографуванні біомаси, що є ключовим для оцінки вуглецевих запасів і впливу лісів на зміну клімату. Цей підхід суттєво розширює функціонал CLMS і сприяє створенню нових стандартів у сфері супутникового моніторингу земного покриву [17].

У межах Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) створено спеціалізований продукт High Resolution Layer Forest Type, який спрямований на точне розмежування лісових територій відповідно до міжнародних стандартів, зокрема визначень ФАО. Цей продукт базується на даних з іншого шару *Dominant Leaf Type*, однак додатково фільтрує території, які хоч і вкриті деревною рослинністю, не відповідають критеріям "лісу" (наприклад, сади, парки, міські насадження).

Оновлення даних проводиться кожні три роки, узгоджено з іншими високороздільними шарами, що забезпечує послідовність та порівнюваність у часі. Кожен випуск враховує нові супутникові дані Sentinel, а також уточнені алгоритми класифікації, що дозволяє покращити точність розмежування типів лісу, таких як листяні, хвойні або змішані ліси.

Інформація з Forest Type HRL є ключовою для планування заходів у сфері сталого лісокористування, аналізу змін у землекористуванні, оцінки біорізноманіття та адаптації до змін клімату, оскільки вона дозволяє визначати просторову структуру лісового покриву з високою точністю [11].

У рамках ініціативи GSE Forest Monitoring (GSE-FM), що реалізується за підтримки програми Copernicus, створено систему надання стандартизованих продуктів і послуг, орієнтовану на моніторинг лісів та змін у

землекористуванні. Проєкт є прикладом міждисциплінарного підходу, який поєднує супутникові технології, геоінформаційні системи та екологічне моделювання.

Основне завдання GSE-FM забезпечити точну, доступну та своєчасну інформацію про стан лісового покриву, що дозволяє різним користувачам від локальних лісових господарств до міжнародних екологічних організацій приймати обґрунтовані рішення. Дані про зміну площі лісів, типи порушень, відновлення або деградацію надаються в стандартизованих форматах, придатних для порівняння та інтеграції в існуючі системи управління.

Продукти GSE-FM активно використовуються у формуванні політик сталого лісокористування, міжнародній звітності (наприклад, у межах REDD+) та в оперативному реагуванні на незаконні вирубки або стихійні лісові явища. Цей підхід суттєво підвищує якість моніторингу та дозволяє переходити до більш стратегічного планування у лісовому секторі [20].

Європейське космічне агентство (ESA) в 2021 році опублікувало глобальну карту земного покриву ESA WorldCover 2020, створену в межах програми Copernicus із просторовою роздільною здатністю 10 метрів. Карта охоплює всю поверхню планети та класифікує території за 11 класами, включно з лісовим покривом. Вона базується на даних супутників Sentinel-1 та Sentinel-2, що дозволяє забезпечити регулярне оновлення інформації. Дані WorldCover активно використовуються для аналізу змін у землекористуванні, моніторингу вирубки лісів і є важливим інструментом для реалізації екологічної політики, зокрема у сфері запобігання зменшенню лісових площ та зміни клімату [15].

У 2020 році міжнародна дослідницька група на чолі з Buchhorn M. оприлюднила результати роботи Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m (Collection 3). У межах цього проєкту було створено всесвітню карту земного покриву з роздільною здатністю 100 метрів за 2019 рік, яка класифікує поверхню Землі за 23 категоріями, включаючи різні типи лісів. Продукт був розроблений на основі даних супутників Sentinel-2 і націлений на забезпечення прозорого, стандартизованого й відкритого доступу до інформації про земне

покриття для екологічного моніторингу, зокрема моніторингу змін у лісових екосистемах, особливо в регіонах, де спостерігається деградація або фрагментація лісу [8].

У дослідженні «Deforestation Monitoring using Sentinel 2 and xarray» було представлено інноваційний підхід до обробки супутникових даних за допомогою хмарних технологій та бібліотеки xarray. Автори продемонстрували, як використовувати API Sentinel Hub для отримання даних з Copernicus Data Space, формування безхмарних мозаїк Sentinel-2 та обчислення спектральних індексів (наприклад, NDVI) безпосередньо в хмарному середовищі.

Особливу увагу було приділено багаточасовому аналізу для виявлення динаміки втрат лісового покриву, що дає змогу проводити регулярний моніторинг навіть у важкодоступних регіонах. Завдяки інтеграції з xarray та можливості автоматизованої обробки великих обсягів даних, такий підхід забезпечує масштабованість і оперативність аналізу. Це робить його цінним інструментом для екологічного моніторингу та планування заходів у відповідь на вирубку лісів [28].

У дослідженні, присвяченому GLC_FCS30D, автори презентують глобальний набір даних динаміки земного покриву з роздільною здатністю 30 м, який охоплює 26 часових кроків за період з 1985 по 2022 рік. Цей набір створено на основі усіх доступних знімків Landsat, оброблених через платформу Google Earth Engine, із застосуванням методів безперервного виявлення змін.

GLC_FCS30D дозволяє детально простежити трансформації земного покриву, втрати лісового покриву, його відновлення, деградацію чи зміну призначення земель. Висока просторово-часова роздільність і довгострокове охоплення роблять цей продукт особливо цінним для глобального моніторингу лісів, оцінки впливу антропогенних факторів і планування природоохоронної політики. Цей ресурс також може слугувати основою для калібрування моделей зміни клімату та впливу на екосистеми [30].

У дослідженні, присвяченому картуванню видів дерев у Польщі, було проведено класифікацію 16 домінуючих деревних видів за допомогою часових рядів супутникових знімків Sentinel-2. Автори застосували алгоритми машинного навчання до багатотемпоральних даних, що дало змогу розрізнати види дерев на основі спектральних характеристик у різні сезони.

Такий підхід забезпечує високу точність у визначенні видового складу, що має значне значення для ведення лісового кадастру, екологічного моніторингу та планування заходів з управління лісовими ресурсами. Крім того, ця методика може бути масштабована на інші регіони, демонструючи потенціал Sentinel-2 у детальному біофізичному картуванні лісів [25].

У 2023 році в межах спеціалізованої служби Copernicus REDD+ було розгорнуто онлайн-платформу REDD Copernicus, яка дозволяє в режимі реального часу моніторити зміни лісового покриву в тропічних країнах. Сервіс підтримує країни-партнери в межах глобальної ініціативи REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation), надаючи супутникові дані високої точності для виявлення вирубки, деградації, повторного заліснення та інших змін у лісових екосистемах. Платформа також має інструменти аналізу ризиків і сценаріїв змін, що робить її потужним засобом для національного лісового моніторингу, планування природоохоронних заходів та звітності в межах міжнародних зобов'язань [9].

У дослідженні, присвяченому оцінці змін лісового покриву в басейні річки Олт (Румунія), було застосовано алгоритм виявлення змін на основі кумулятивної суми до часових рядів супутникових даних Sentinel-1 та Sentinel-2 за період 2020–2022 років. Цей підхід дозволив виявити зміни в лісовому покриві з високою точністю та просторовою деталізацією.

Особлива увага приділялася виявленню змін у первинних та старовікових лісах, яких у Румунії найбільше серед країн ЄС (понад 218 000 га). Незважаючи на те, що багато з них номінально захищені як частина національних парків або мережі Natura 2000, дослідження показало факти як легальної, так і нелегальної вирубки в межах цих територій. Це підкреслює

важливість інтегрованого супутникового моніторингу для контролю за виконанням природоохоронного законодавства [27].

У статті описано, як дані Copernicus виступають потужним інструментом для оперативного моніторингу навколишнього середовища, зокрема лісового покриву, підтримуючи досягнення цілей Європейської Зеленої угоди. Інформація, яку надає Copernicus, дозволяє відстежувати зміни стану лісів, аналізувати їх динаміку та оцінювати вплив на клімат, довкілля та природні ресурси. Для реалізації амбітних екологічних цілей необхідні передові інструменти моніторингу, які Copernicus успішно забезпечує [13].

Європейський лісовий обсерваторій надає детальні карти змін лісового покриву, які охоплюють період з 2016 по 2023 рік і дозволяють щорічно ідентифікувати основні причини змін лісів на глобальному рівні. Ці карти базуються на супутникових даних Copernicus і враховують вплив як природних факторів, так і антропогенних дій, таких як незаконна вирубка, сільськогосподарське розширення чи пожежі. Отримана інформація є цінним ресурсом для політиків, природоохоронних організацій та науковців, які працюють над збереженням лісових екосистем та розробкою стратегій для сталого управління лісами [16].

Висновки до 1-го розділу. У першому розділі дипломної роботи здійснено теоретичне обґрунтування доцільності використання картографічних сервісів для моніторингу змін лісового покриву, зокрема сервісу Copernicus. Розглянуто основні особливості, функціональні можливості та переваги цього інструменту в контексті дистанційного зондування Землі. Також окреслено поняття лісового покриву, його динаміку та актуальність дослідження змін, що відбуваються під впливом як природних, так і антропогенних чинників. Розділ формує необхідну наукову базу для подальшого аналізу практичного застосування сервісу Copernicus у наступних частинах роботи.

РОЗДІЛ 2

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Коротка характеристика підприємства

Чернігівське надлісництво філії «Північний лісовий офіс» розташоване в центральній та західній частині Чернігівської області на території Корюківського, Чернігівського адміністративних районів Чернігівської області та Вишгородського району Київської області.

Поштова адреса: індекс 14013, м. Чернігів вул. О. Молодчого, 18
Електронна адреса: Lesnoyotdel@ukr.net



Рис.
2.1.

Контора Чернігівського надлісництва

Загальна площа земель лісового фонду надлісництва становить 101936,4 га. Адміністративно-організаційна структура філії наведена у табл. 2.1.

Адміністративно-організаційна структура

| Найменування лісництв, місцезнаходження контор | Адміністративні райони | Площа, га |
|---|--|-----------------|
| Любецьке, смт. Любеч | Чернігівський | 8192,1 |
| Мекшунівське, м. Мекшунівка | -*- | 9711 |
| Славутицьке, м. Славутич | -*- | 10277,4 |
| | Вишгородський район Київської області | 1,1 |
| Разом | | 10278,5 |
| Пакульське, с. Пакуль | Чернігівський | 9224,5 |
| Красилівське, с. Красне | -*- | 8896,8 |
| | | |
| Березнянське, с. Березна | -*- | 6076,7 |
| | Корюківський | 2082,1 |
| Разом | | 8158,8 |
| Сорокошицьке, с. Городок | Чернігівський | 6515,5 |
| Косачівське, с. Косачівка | -*- | 6005,3 |
| Моровське, с. Морівськ | -*- | 7705,8 |
| | | |
| Горбачівське, с. Кіпті | -*- | 9868,7 |
| Карпилівське, смт. Десна, кв.167 в.7 | -*- | 10244,7 |
| Остерське, м. Остер | -*- | 7134,7 |
| Всього по надіслництву | | 101936,4 |
| в т. ч. за адмінрайонами | Корюківський | 2082,1 |
| | Чернігівський | 99853,2 |
| | Вишгородський район Київської області | 1,1 |

З даних наведених у табл. 2.1. бачимо, що всі лісництва знаходяться на території Чернігівського району. Територія Карпилівського лісництва є найбільшою і становить 10,7% . Найменшим же є Остерське лісництво 6,9% від загального фонду.

Існуючий поділ лісів на категорії проведено згідно постанови КМ України від 16.04.07р. № 733 «Порядок поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок», постанов КМ України від 30 січня 2019 р. [30]. Відповідно до проекту організації та розвитку Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» [30] 41,6% території філії становлять експлуатаційні ліси (рис.2.2). Це свідчить про те, що майже половина фонду землі використовуються для задоволення потреб національної економіки у деревині

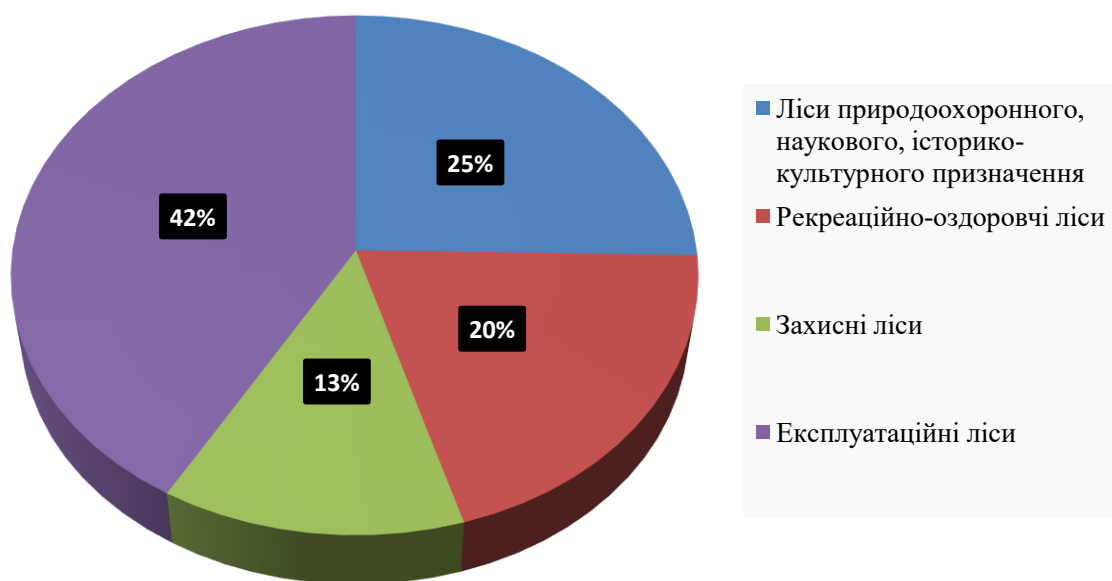


Рис. 2.2. Розподіл площі земель лісового фонду за категоріями

Згідно із даними з рис. 2.2, рекреаційно-оздоровчі ліси займають 20% території, і лише невелика частина цих лісів розташована поруч з населеними пунктами. Ліси, які використовуються для природоохоронних, наукових і історико-культурних цілей, займають 42% земель. Також, 13% лісів

забезпечують захисні функції, розташовуючись вздовж залізничних та автомобільних трас, а також уздовж річок, озер і водойм.

На території лісового фонду Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» переважаючою по площі породою є сосна звичайна, що становить 71% від загальної площі. На рис. 2.3. наведено розподіл площі за основними видами порід.

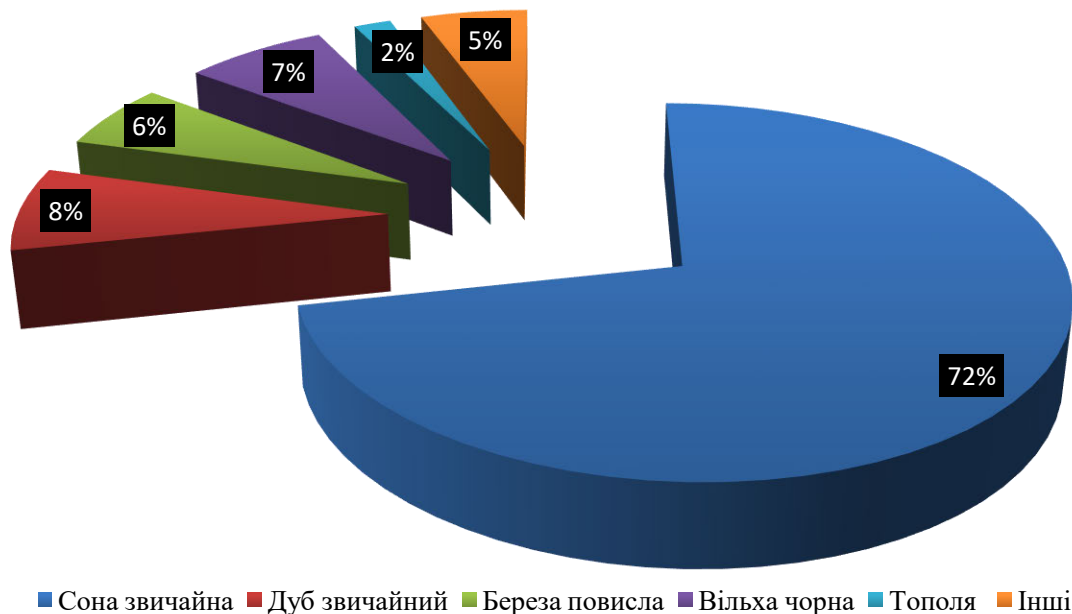


Рис. 2.3. Розподіл площі лісових земель за головними породами

З даних рис. 2.3. бачимо, що також досить часто у лісових масивах зустрічається береза повисла (6%) та дуб звичайний (8%). Дані деревні види є супутніми породами для сосни звичайної та часто використовуються при створенні лісових культур. Вони відіграють важливу роль у формуванні стійких та біологічно різноманітних лісових насаджень. Завдяки своїм екологічним особливостям, береза повисла здатна швидко закріплювати відкриті ділянки, покращувати ґрунтові умови та створювати сприятливий мікроклімат для росту основної породи. Дуб звичайний, у свою чергу, є цінною твердолистяною породою, що підвищує господарську цінність насаджень та сприяє збереженню видового різноманіття. Спільне вирощування цих порід із сосною звичайною

дозволяє створювати продуктивні, стабільні у довгостроковій перспективі ліси, На рис. 2.4 наведена характеристика площі земель підприємства за ТЛУ

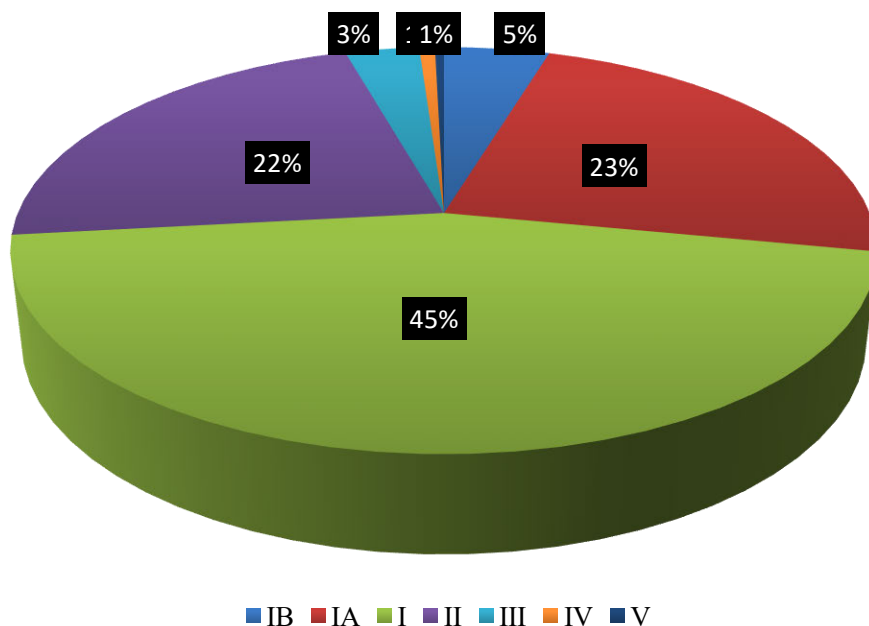


Рис. 2.4. Розподіл площі насаджень Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» за класами бонітету.

У насадженнях Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» середнє значення бонітету становить, 1,0 що свідчить про те, що більшість насаджень є високобонітетними. На рис. 2.5 наведена характеристика площі земель підприємства за повнотами

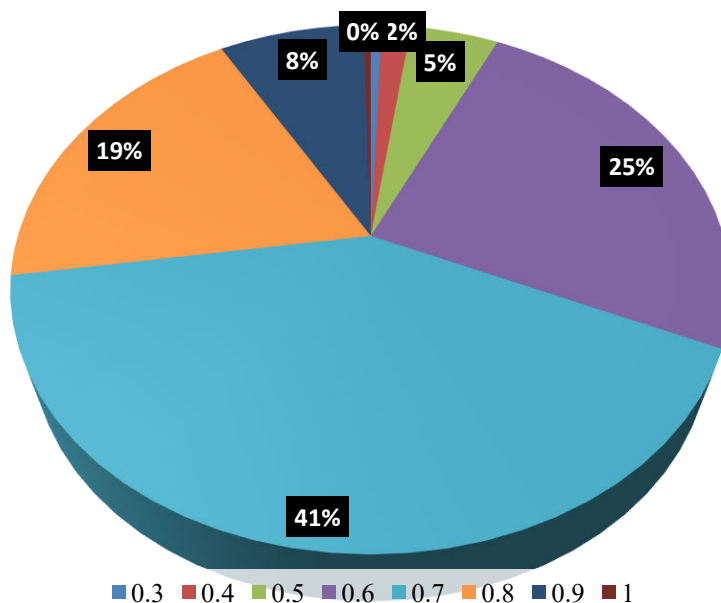


Рис.2.5. Розподіл площі насаджень Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» за повнотами

В 2024 році в лісах надлісництва в цілому було заготовлено 187,01 тис. м³ ліквідної деревини, в т. ч. ділової – 133,79 тис. м³. Із загального обсягу заготовленої ліквідної деревини хвойні породи складають відповідно 162,67 тис. м³, твердолистяні породи - 5,95 тис. м³, м'яколистяні породи – 18,39 тис. м³. крім того в ДП «Остерський військовий лісгосп»: хвойні породи – 59,88 тис. м³ ліквідної деревини, м'яколистяні – 3,6 тис. м³ ліквідної деревини.

Основні сортименти, які заготовляються в лісгоспі: лісоматеріали круглі, пиловник, технічна сировина, дрова.

Найбільшими споживачами деревини є ФОП «Семко М. Я.», ТОВ «Ліра», ТОВ «Чернігівбіоресурс», ТОВ «Палетів світ», ФОП «Федірко П. В.», ТОВ «Вуд Пауер», ТОВ «Папа Карло», ТОВ «Адель», ПРАТ «Коростенський завод МДФ», «Тамід» (Ізраїль). Найбільшим попитом в споживачів користується технічна сировина, пиловник. Розподіл заготовленої деревини в межах видів рубок за 2024 рік наведено на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Обсяги заготівлі деревини за 2024 рік за видами рубок

Згідно з лісорослинним районуванням («Комплексне лісогосподарське районування України і Молдавії» під редакцією С. А. Генсірука, Київ, «Наукова думка», 1981) територія надлісництва відноситься до Києво-Чернігівського поліського (Східне Полісся) лісогосподарського округу А. Полісся лісорослинної зони.

Клімат району розташування надлісництва характеризується м'якою зимою, теплим літом і значною кількістю атмосферних опадів.

Коротка характеристика кліматичних умов, що мають значення для лісового господарства, приведена в таблиці 2.2.

Із кліматичних факторів, що негативно впливають на ріст і розвиток лісових насаджень потрібно відзначити пізні весняні та ранні осінні приморозки, а також часткове підтоплення лісових масивів у басейні річки Десна в період весняного повноводдя, яке дуже рідко трапляється.

Територія надлісництва за характером рельєфу є рівнинною, розділена приблизно на дві рівні частини річкою Десна. На північному сході територія дещо піднята із загальним нахилом на південний захід до річки Дніпро.

За ступенем вологості більша частина ґрунтів відноситься до свіжих гігротопів – 74,4 %, вологі – 15,1 %, сирі – 7,6 %. На долю лісових ділянок з надмірним зволоженням припадає 0,4 % площі, вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок. Болота займають площу 3100,6 га.

Такий розподіл гігротопів має важливе значення для планування та ведення лісового господарства, оскільки вологість ґрунту безпосередньо впливає на вибір лісоутворюючих порід, схеми лісовідновлення та динаміку росту насаджень. На свіжих ґрунтах найкраще почуваються такі породи, як сосна звичайна, дуб звичайний, береза повисла, які є основними або супутніми у відповідних типах лісу. Вологі та сирі ґрунти потребують більш обережного підходу до господарювання через ризик зниження продуктивності лісів і обмежену придатність для деяких порід.

Кліматичні показники

| Найменування показників | Одиниця вимірювання | Значення | Дата |
|---|---------------------|----------|---------------------|
| 1. Температура повітря: | | | |
| - середньорічна | градус | 6,4 | |
| - абсолютна максимальна | градус | 37 | |
| - абсолютна мінімальна | градус | -36,8 | |
| 2. Кількість опадів на рік | мм | 565 | |
| 3. Тривалість вегетаційного періоду | днів | 195 | |
| 4. Пізні весняні заморозки | | | початок травня |
| 5. Перші осінні заморозки | | | кінець вересня |
| 6. Середня дата замерзання рік | | | друга декада грудня |
| 7. Середня дата початку паводку | | | березень-квітень |
| 8. Напрямок панівних вітрів за сезонами: | | | |
| - зима | румб | ПдЗ | |
| - весна | румб | ПнЗ | |
| - літо | румб | ПнЗ | |
| - осінь | румб | ПдЗ | |
| 9. Середня швидкість панівних вітрів | | | |
| за сезонами: | | | |
| - зима | м/сек. | 4,6 | |
| - весна | м/сек. | 3,2 | |
| - літо | м/сек. | 2,4 | |
| - осінь | м/сек. | 4 | |
| 10. Відносна вологість повітря за сезонами: | | | |
| - зима | % | 73 | |
| - весна | % | 72 | |
| - літо | % | 70 | |
| - осінь | % | 74 | |

2.2. Методика досліджень

З метою проведення дослідження по використанню картографічного сервісу Copernicus Browser для оцінки змін лісового покриву було обрано поетапний підхід, який включає в себе збір, обробку, аналіз супутникових даних та візуалізацію результатів. Дослідження проводилось на основі відкритих супутникових знімків, доступних через платформу Copernicus (зокрема, дані Sentinel-2), що дозволяє проводити регулярний моніторинг стану лісових територій.

Основні етапи дослідження включали:

1. Вибір території дослідження. Для аналізу було обрано територію, що характеризується активними змінами лісового покриву протягом останніх років. Географічні координати області були задані вручну в інтерфейсі Copernicus Browser.

2. Визначення часових меж. Для порівняння використовувалися супутникові знімки за два або більше часових періоди (2017 та 2024 роки), що дозволяє оцінити динаміку змін.

3. Отримання супутникових знімків. Використовуючи Copernicus Browser, здійснено пошук і завантаження знімків Sentinel-2 із найменшим відсотком хмарного покриття. Було обрано знімки з однаковими сезонними умовами (наприклад, літній період), щоб уникнути сезонного впливу на аналіз.

4. Обробка знімків. Для виявлення змін лісового покриву використовувалися візуальні індекси, зокрема NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який дозволяє оцінити щільність рослинності. Обробка зображень виконувалась безпосередньо в Copernicus Browser, а також із використанням сторонніх ГІС-програм для детальнішого аналізу.

5. Порівняльний аналіз та візуалізація результатів. Отримані знімки були порівняні для виявлення змін у лісовому покриві. Зміни вегетаційного індексу аналізувалися кількісно (з використанням піксельного аналізу) та

якісно (візуальне картографування). Результати були представлені у вигляді тематичних карт і графіків.

6. Інтерпретація результатів. На основі проведеного аналізу було зроблено висновки щодо характеру, інтенсивності та просторової структури змін лісового покриву на обраній території.

Методика дозволяє ефективно виявляти динаміку змін у лісових масивах на основі відкритих супутникових даних і сучасних інструментів дистанційного зондування Землі.

Головне меню Copernicus Browser, де відбуваються основні маніпуляції наведено на рис. 2.7.



Рис. 2.7. Головне меню Copernicus Browser

На рисунку 2.8 представлено інструменти картографічного сервісу Copernicus, за допомогою яких було визначено та побудовано межі досліджуваної території. Вони дозволяють точно окреслити область, що підлягає подальшому аналізу змін лісового покриву.»

Зокрема, використовувалися функції малювання полігонів та ручного редагування меж, що забезпечують зручність і точність при виділенні потрібної ділянки на супутниковому знімку.



Рис. 2.8. Інструменти для побудови полігона

На рисунку 2.9 показано процес побудови досліджуваної області за допомогою інструментів картографічного сервісу Copernicus. Червоною стрілкою позначено обраний інструмент роботи з шарами, що дозволяє керувати вмістом карти та перемикається між різними режимами перегляду. Зеленою стрілкою виділено інструмент “Олівець”, який застосовується для створення полігонів саме ним було нанесено контур досліджуваної території для подальшого аналізу змін лісового покриву.

На рисунку 2.9 зображено вже створену полігональну область, яка охоплює досліджувану територію. Цей полігон було сформовано за допомогою інструментів сервісу Copernicus для подальшого аналізу змін лісового покриву.

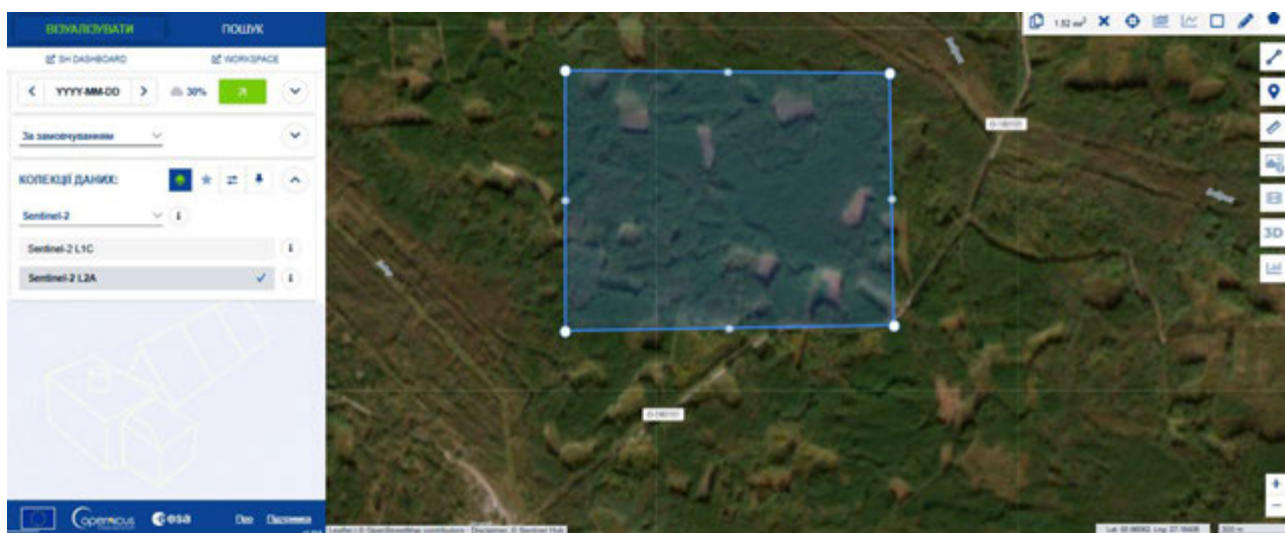


Рис. 2.9. Побудований полігон досліджуваної території

Висновки до 2-го розділу. У даному розділі описана коротка характеристика підприємства та методика збору дослідних даних, також проведений опис програмного продукту, який використаний для обробки та опису супутникових знімків для аналізу зміни лісового покриву.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ЗМІН ЛІСОВОГО ПОКРИВУ

Лісові екосистеми відіграють ключову роль у збереженні біорізноманіття, регулюванні клімату та забезпеченні екологічної рівноваги. У зв'язку з природними та антропогенними чинниками, площа та стан лісового покриву постійно змінюються, що вимагає регулярного моніторингу та аналізу. Особливо актуальною така оцінка є для територій з активним веденням лісового господарства, до яких належить і Чернігівське надлісництво.

У цьому розділі розглянуто зміни лісового покриву на вибраних ділянках Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» ДП «Ліси України». за допомогою супутникових знімків, отриманих через сервіс Copernicus Browser. Застосування дистанційного зондування Землі та індексів рослинності (зокрема NDVI) дозволяє ефективно виявити просторові та кількісні зміни в структурі лісів. Аналіз проводиться для різних періодів часу з метою виявлення тенденцій зменшення або відновлення лісового покриву.

У процесі дослідження був обраний окремий квартал, що демонструє характерні приклади змін, спричинених як природними факторами, так і господарською діяльністю

Для більш детальної демонстрації змін лісового покриву було обрано часовий проміжок з 2017 по 2024 роки. Такий період дає змогу простежити як короткострокові, так і накопичені довгострокові зміни у структурі лісів. Саме в цей відрізок часу на території Чернігівського надлісництва спостерігались як активні лісогосподарські заходи (суцільні та вибіркові рубки), так і природні процеси, пов'язані з відновленням або деградацією лісових масивів.

Для аналізу використовуються супутникові знімки, отримані через сервіс Copernicus Browser, зокрема дані із супутника Sentinel-2, який забезпечує високу просторову та спектральну роздільну здатність. Зображення підбирались таким чином, щоб мінімізувати вплив сезонних змін та хмарності.

Найбільш інформативними виявились літні місяці (червень–серпень), коли рослинність перебуває в піковій фазі вегетації.

Порівняння знімків за вказані роки дозволяє точно визначити ділянки, де відбулися зміни, проаналізувати їхню природу та масштаби, а також оцінити ефективність лісогосподарської діяльності або масштаби природного відновлення.

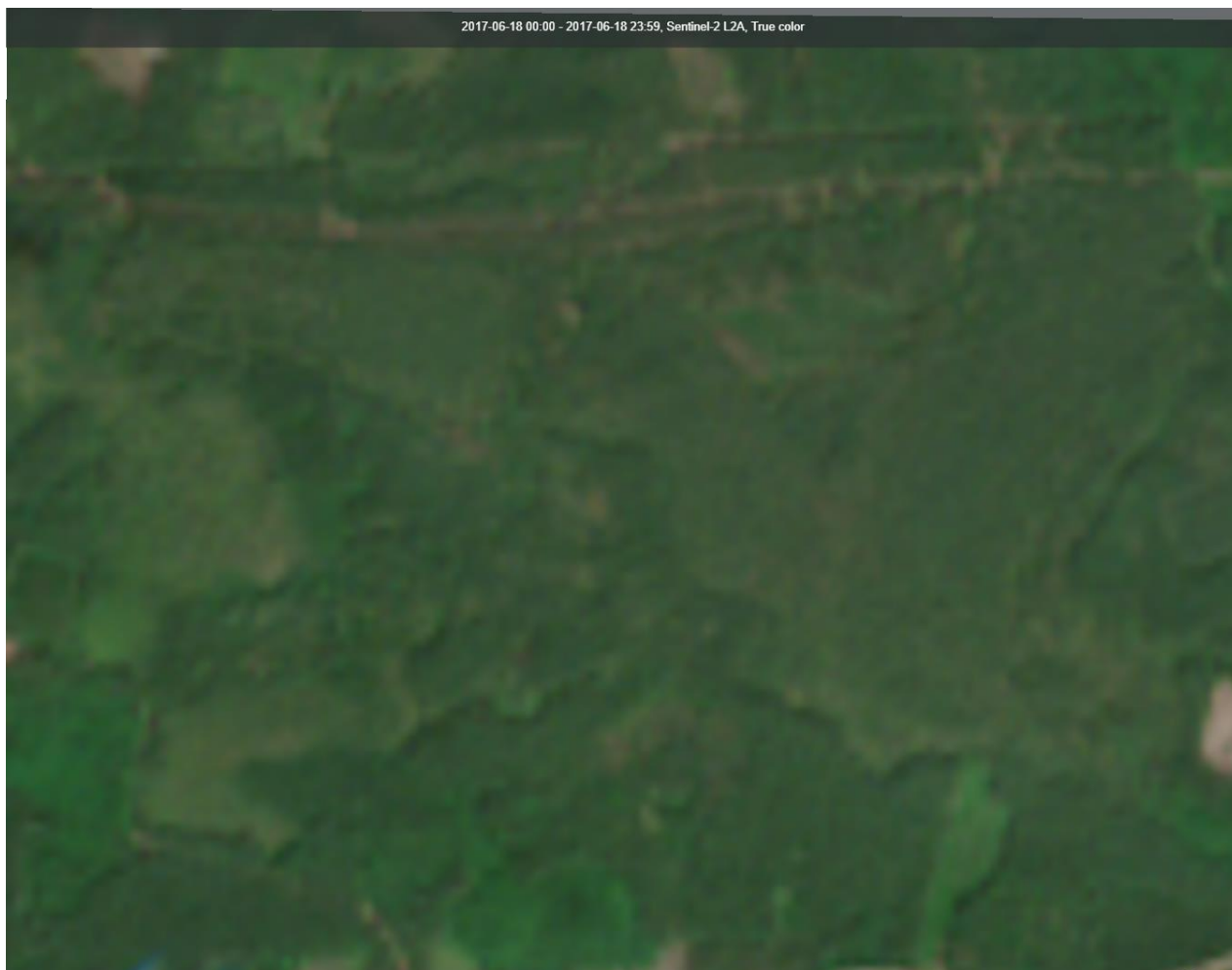


Рис. 3.1. Знімок від 18 червня 2017р. (Sentinel-2, True Color)

На зображенні, отриманому з супутника Sentinel-2 у натуральних кольорах за 18 червня 2017 року, відображено ділянку лісового масиву на території Чернігівського лісового господарства (на зараз Чернігівського надлісництва). Знімок не є досить чітким, але низький рівень хмарності компенсує якість, що дозволяє детально проаналізувати стан лісового покриву в літній період вегетації.

На зображенні переважають темно-зелені ділянки, які вказують на здорову деревну рослинність. В межах знімку видно неоднорідну структуру лісу, зокрема деякі світліші плями, що можуть свідчити про:

- молодняки;
- зруби попередніх років;
- природних прогалин;

У верхній частині зображення простежується лінійний елемент, лісова дорога або просіка, яка проходить із заходу на схід. Вона чітко вирізняється на фоні суцільного зеленого покриву.

На момент зйомки значних змін або пошкоджень лісового покриву на даній ділянці не зафіксовано. Це свідчить про відносно стабільний екологічний стан території у 2017 році.

Аналіз іншого знімка, зробленого 8 червня 2018 року, наведено на рис. 3.2.

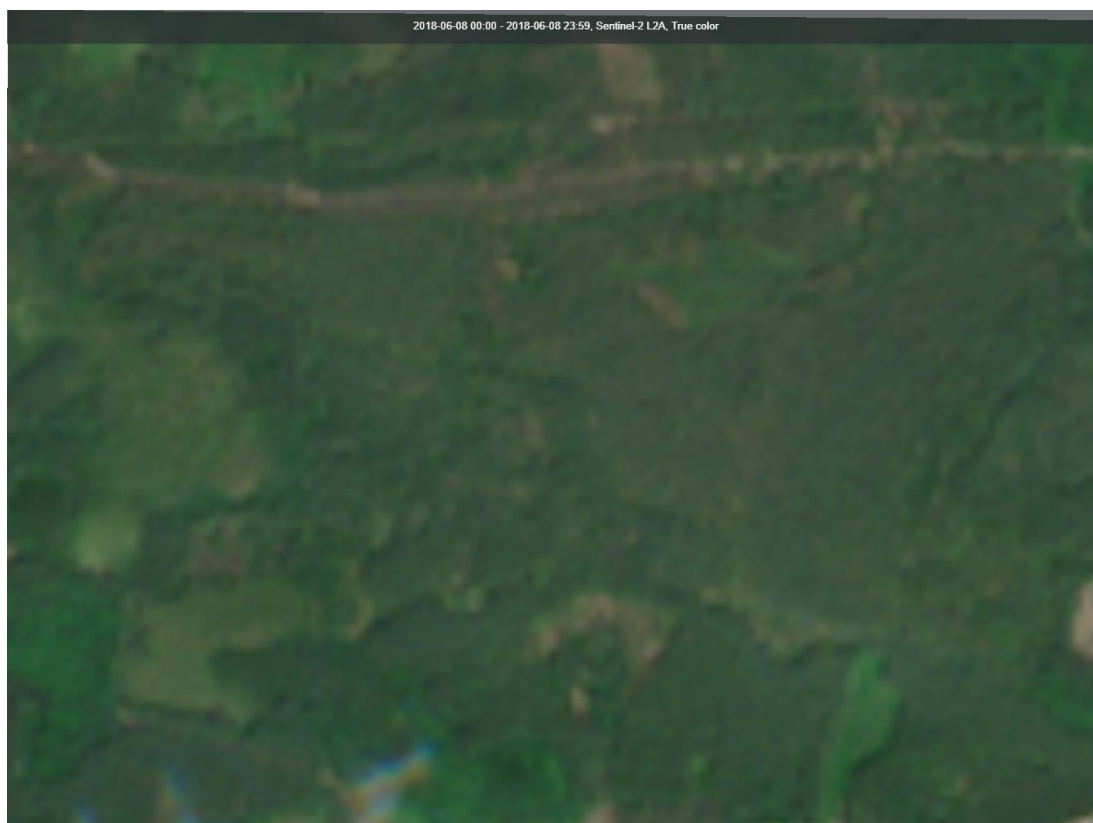


Рис. 3.2. Знімок від 8 червня 2018 року (Sentinel-2, True Color)

На супутниковому зображенні, отриманому 8 червня 2018 року за допомогою супутника Sentinel-2, можна кардинальних змін не відбулось. Основні масиви залишаються зеленими та однорідними, що свідчить про відсутність великих вирубок або суттєвих змін за рік.

Лісова дорога, що зображена в верхній частині знімку, залишається добре помітною. Її контури чіткі, без розширення чи слідів значного втручання в лісовий масив.

Світлі ділянки в центрі знімка та на південному заході зображення, які були помітні ще у 2017 році, зберегли свої розміри та форму, що вказує на стабільність стану ділянок.

У період з 2017 по 2018 рік на основі супутникових знімків суттєвих змін лісового покриву не виявлено. Ознак суцільних або вибіркового рубок на досліджуваній ділянці не зафіксовано. Структура та щільність лісу залишаються стабільними, без появи нових об'єктів, характерних для вирубаних територій. Це свідчить про відсутність активної лісогосподарської діяльності в межах аналізованого кварталу у цей період.

Починаючи з 2019 року, дослідження продовжується з метою виявлення можливих змін лісового покриву, пов'язаних як із природними чинниками, так і з активізацією лісогосподарської діяльності, зокрема проведенням рубок. На основі супутникових знімків за цей період можна простежити перші ознаки втручання у структуру лісових масивів, якщо такі мали місце. Дозволить визначити масштаби та характер змін, що сталися у порівнянні з попередніми роками, якщо такі мали місце.



Рис. 3.3. Знімок від 15 червня 2019 року (Sentinel-2, True Color)

На зображенні, отриманому 15 червня 2019 року, спостерігаються помітні зміни у структурі лісового покриву на території Чернігівського надлісництва. У порівнянні зі знімками 2017 та 2018 років, чітко фіксуються нові світлі ділянки в межах лісових масивів, що свідчать скоріш за все про вирубки, зокрема це помітно в центральній-південній частині зображення (ділянка 2), розмір вирубки близько 2-3 га, а також в верхній частині зображення (ділянка 1) близько 1 га.

Ці ділянки мають характерну прямокутну форму, що є типовим для суцільних санітарних або планових рубок. Раніше на цих місцях фіксувалася щільна зелена структура, але вже у 2019 році рослинність на цих ділянках повністю або частково відсутня, що свідчить про інтенсивне втручання у лісовий покрив.

Крім того, серед змін видно розширення та активізацію використання існуючих доріг, які проходять у верхній частині знімка, тепер межують із ділянками, де проводились лісгосподарські роботи.

У 2019 році на території досліджуваної ділянки зафіксовано появу вирубаних територій, що не спостерігались у попередні роки. Це свідчить про початок рубок у межах кварталу, які стали візуально помітними завдяки супутниковому моніторингу. Ці зміни є першими ознаками динаміки змін лісового покриву за 3 роки спостережень.

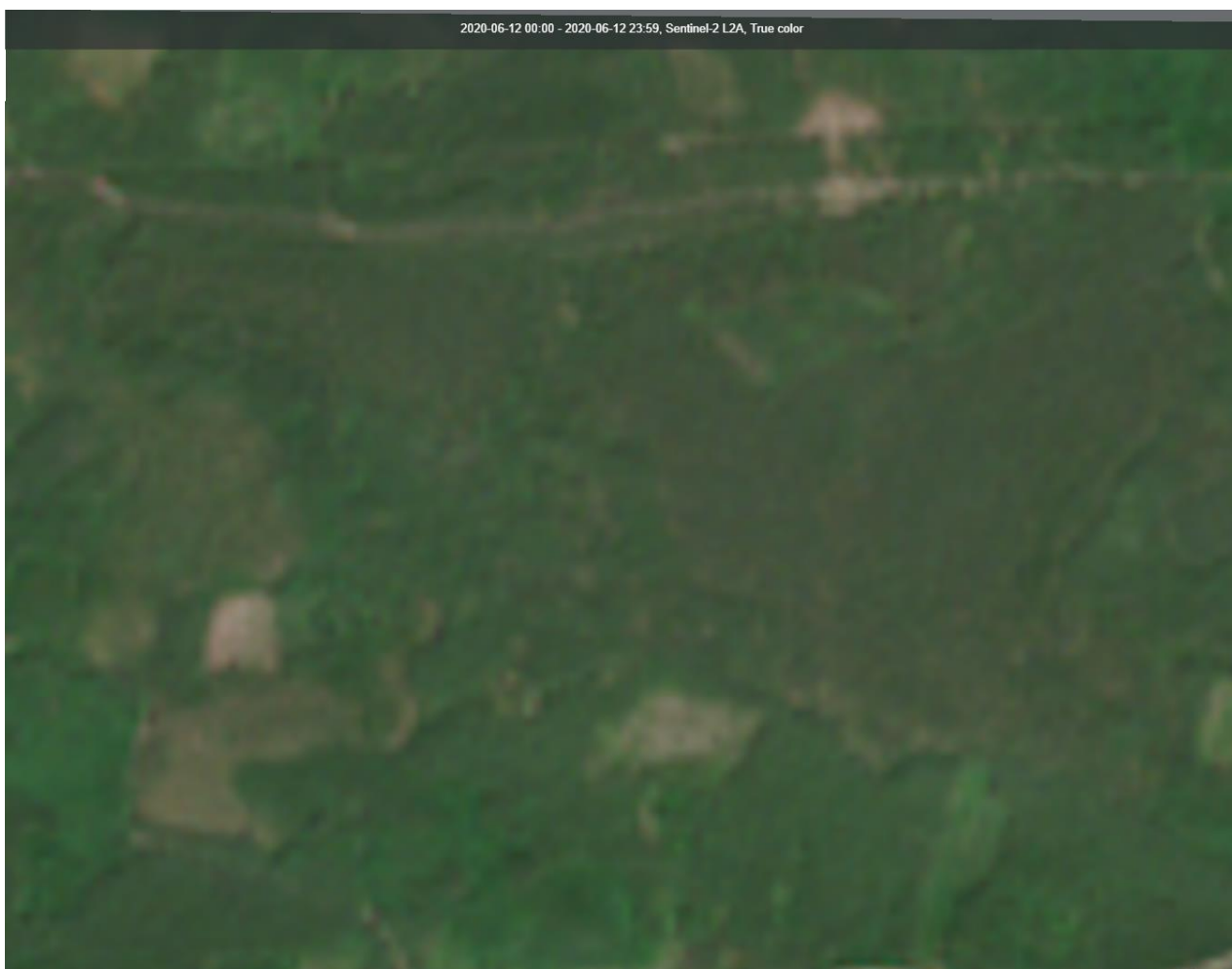


Рис. 3.4. Знімок від 12 червня 2020 року (Sentinel-2, True Color)

У 2020 році на території досліджуваної ділянки фіксується подальше зростання площ вирубаних лісів. У порівнянні зі знімком за 2019 рік, існуючі лісові прогалини значно розширились, а також з'явилися нові світлі ділянки.

Особливу увагу привертає велика ділянка вирубки у південно-західній частині (ділянка 1), площа близько 2 га. Зміни мають чіткі межі, що характерно для планових суцільних рубок. Крім того, помітне розширення вирубаного території вздовж лісової дороги у північній частині знімка (ділянка 2).

У 2020 році темпи зміни лісового покриву на досліджуваній території суттєво зросли. Площа вирубаних ділянок збільшилась, що свідчить про активізацію лісогосподарської діяльності.

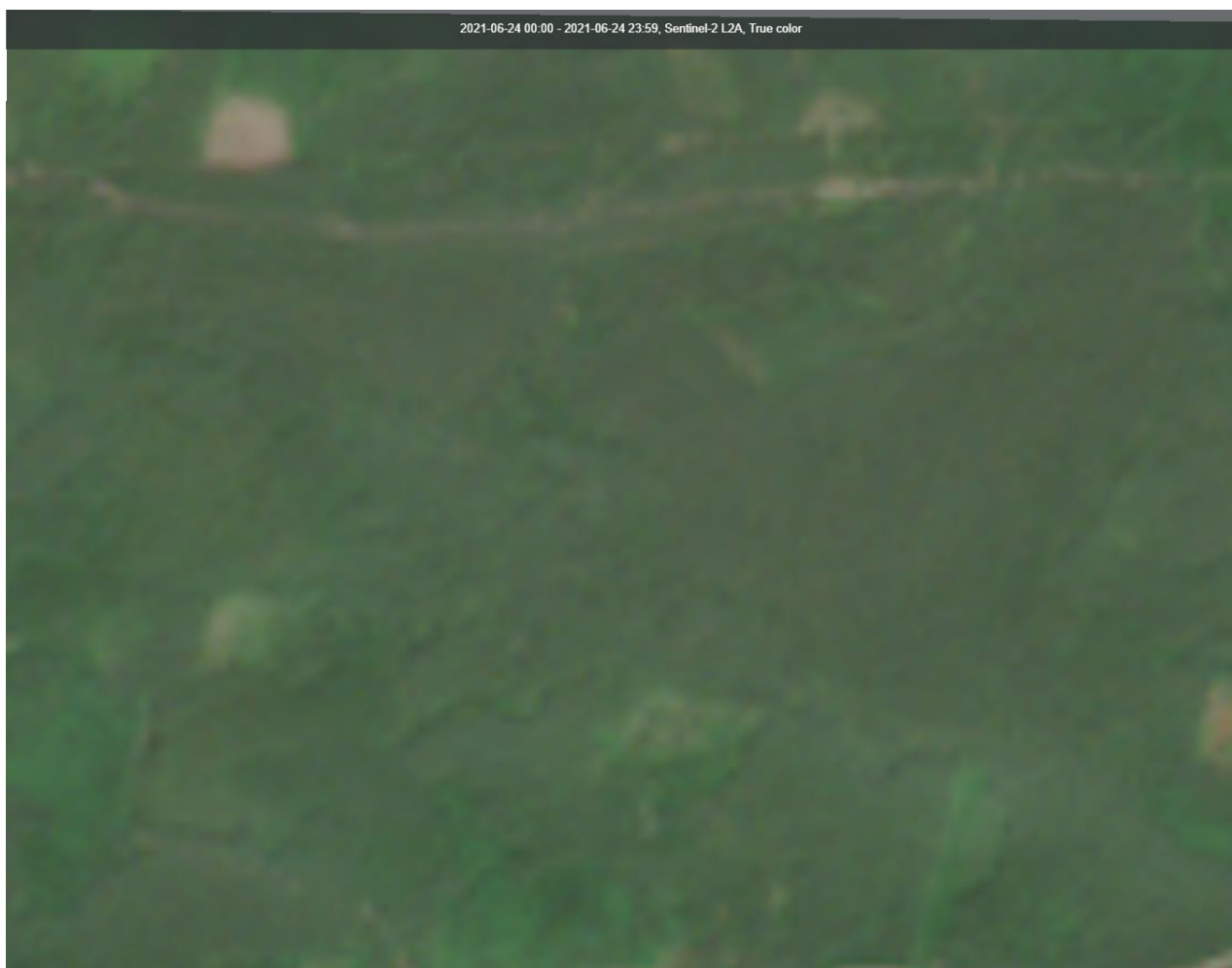


Рис. 3.5. Знімок від 24 червня 2021 року (Sentinel-2, True Color)

У 2021 році на досліджуваній території спостерігається певна стабілізація та покращення процесів вирубки лісу у порівнянні з попереднім роком. Великі вирубані ділянки, які з'явилися раніше (ділянки 2 та 3), залишаються видимими, але чітко видно наявність життєздатного природного

поновлення. На ділянці під номером 1, була проведена рубка, з загальною площею близько 2 га.

У 2021 році вирубки на території не продовжились з такою інтенсивністю, як у 2020-му році. Це може свідчити про зниження темпів лісозаготівлі або перехід до відновлювальних заходів. Ландшафт усе ще демонструє наслідки попередніх вирубок, які добре фіксуються на супутникових знімках.



Рис. 3.6. Знімок від 19 червня 2022 року (Sentinel-2, True Color)

У 2022 році спостерігається значне зростання масштабів вирубки лісу, це можна спостерігати на ділянках 1,2,3, площа кожної з яких орієнтовно 3 га. Якщо порівнювати з попередніми роками, то в 2022 відбулись наймасштабніші зміни на досліджуваній території.

На досліджуваній території відбулося різке зростання активності лісозаготівлі, що проявляється у появі нових великих вирубок. Це вказує на підвищення інтенсивності рубок після відновлюваного 2021 року.

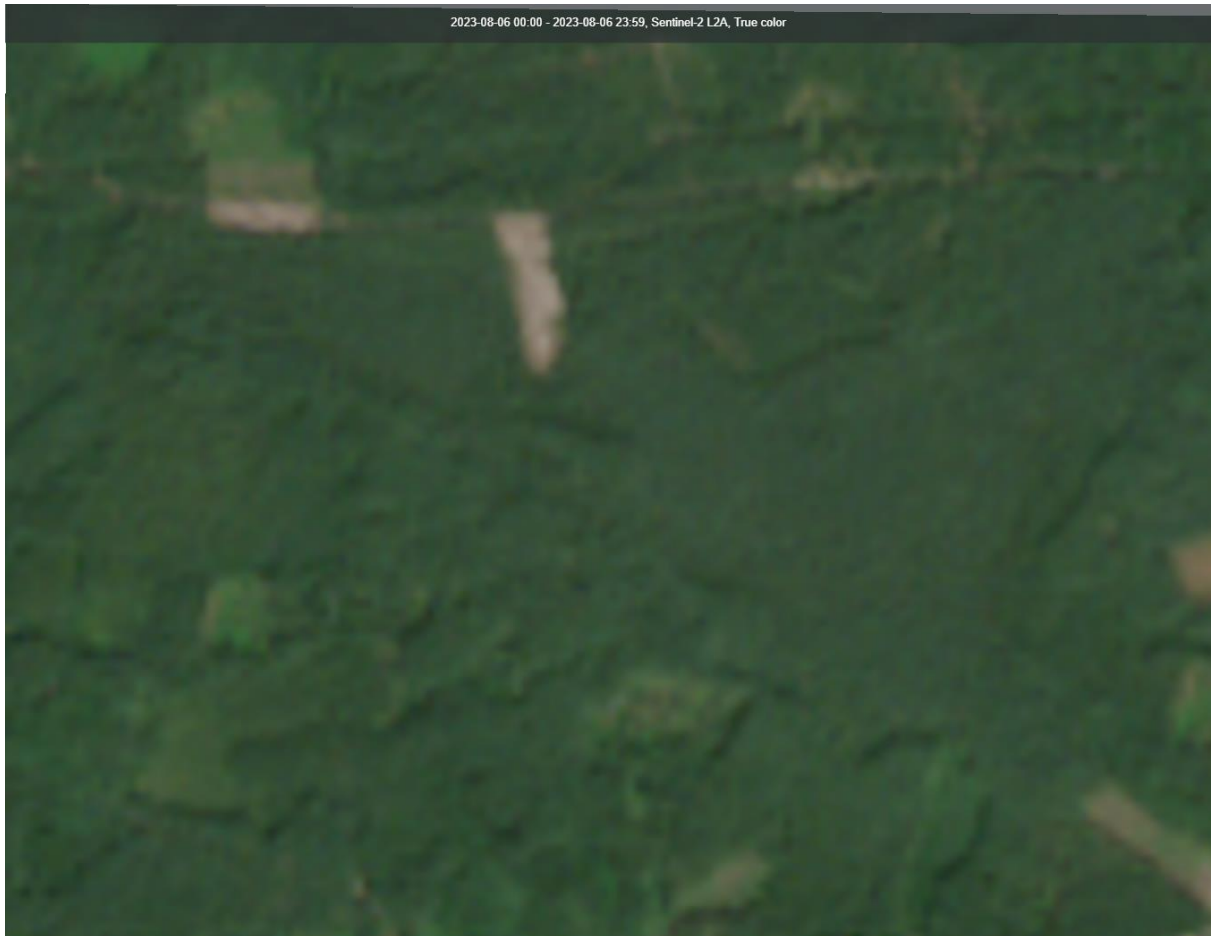


Рис. 3.7. Знімок від 19 червня 2022 року (Sentinel-2, True Color)

У 2023 році на території дослідження суттєвих вирубок не зафіксовано: Раніше вирубані ділянки, зокрема великі світлі площі з 2022 року, залишаються помітними, але видно хороше природнє поновлення. Нових рубок або розширення старих лісосік у порівнянні з 2022 роком не спостерігається. На ділянках, де в попередні роки проводились рубки, чітко помітно покращення, що свідчить про активне природнє або штучне відновлення.

У 2023 році активна вирубка не здійснювалась. Відзначається стабілізація ситуації, нові рубки не з'являються, а старі поступово починають відновлюватись.



Рис. 3.8. Знімок від 15 серпня 2024 року (Sentinel-2, True Color)

У 2024 році зафіксовано нові значні рубки, на ділянці 1 позначена нова велика вирубка, площею до 3 гектарів, якої не було у 2023 році. У південній частині видно дві нові світлі ділянки (3 і 4), чітко виражені прямокутні форми ознака проведеної рубки, площі обох ділянок близькі до 2-х га. На ділянці 2 відбулась невелика рубка, в порівнянні з іншими ділянками, близько 1 га.

У період з 2017 по 2024 рік на території дослідження спостерігається стійка тенденція до зменшення лісового покриву, з періодами інтенсивних рубок. Починаючи з 2019 року, з'являються перші чітко виражені ділянок. У 2020–2021 роках темпи втрати лісу були незначними, однак з 2022 року відбувається різке зростання площ рубок. Особливо інтенсивна лісозаготівля спостерігалася у 2022 та 2024 роках, коли з'явилися великі нові вирубані

масиви, переважно у центральній, південній та північно-східній частинах території.

Натомість 2023 рік був спокійним, на знімках не виявлено нових рубок, що може свідчити про тимчасове зниження господарської активності або відсутність доступних лісових масивів для заготівлі.

Загалом, за 8 років територія зазнала відчутного зменшення лісового покриву, що свідчить про активний вплив антропогенних чинників, зокрема лісозаготівельної діяльності.

Висновки до 3-го розділу. У цьому розділі розглянуто зміни лісового покриву на вибраних ділянках Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» ДП «Ліси України» за допомогою супутникових знімків, отриманих через сервіс Copernicus Browser. Застосування дистанційного зондування Землі та індексів рослинності (зокрема NDVI) дозволяє ефективно виявити просторові та кількісні зміни в структурі лісів. Аналіз проводиться для різних періодів часу з метою виявлення тенденцій зменшення або відновлення лісового покриву.

У процесі дослідження був обраний окремий квартал, що демонструє характерні приклади змін, спричинених як природними факторами, так і господарською діяльністю. Для більш детальної демонстрації змін лісового покриву було обрано часовий проміжок з 2017 по 2024 роки. Такий період дає змогу простежити як короткострокові, так і накопичені довгострокові зміни у структурі лісів. Саме в цей відрізок часу на території Чернігівського надлісництва спостерігались як активні лісогосподарські заходи (суцільні та вибіркові рубки), так і природні процеси, пов'язані з відновленням або деградацією лісових масивів.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано доцільність застосування сучасних картографічних сервісів, зокрема Copernus, як ефективного інструменту моніторингу змін лісового покриву в умовах посилення антропогенного впливу та кліматичних змін.
2. Розглянуто теоретичні основи дистанційного зондування Землі, що дозволяють здійснювати систематичний моніторинг лісів із використанням відкритих супутникових даних високої роздільності.
3. Детально проаналізовано функціональні можливості сервісу Copernus, зокрема Copernicus Browser, що дає змогу проводити просторово-часовий аналіз змін у структурі лісів завдяки доступу до архівних супутникових знімків.
4. Визначено ключові фактори впливу на зміну лісового покриву, серед яких виділено як природні (повені, шкідники, відновлення), так і антропогенні (лісогосподарські заходи, суцільні рубки) чинники.
5. Надано загальну фізико-географічну характеристику досліджуваної території, зокрема описано клімат, рельєф, гідрологію та типи ґрунтів, що мають важливе значення для росту лісових насаджень.
6. Проведено аналіз змін лісового покриву на прикладі Чернігівського надлісництва, що дозволило виявити характерні просторові зміни за період 2017–2024 рр.
7. Встановлено динаміку змін лісового покриву на дослідних ділянках, включаючи ділянки з активним впливом лісогосподарської діяльності, що відображає ефективність супутникового моніторингу.
8. Підтверджено практичну значимість використання Copernus для потреб лісового господарства, екологічного моніторингу, лісовпорядкування та планування природоохоронних заходів.
9. Результати дослідження мають прикладне значення для впровадження новітніх цифрових технологій у систему лісового моніторингу України та можуть бути використані у майбутніх наукових і виробничих проєктах.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі проведеного дослідження рекомендовано впровадження у виробничу практику підприємств лісового господарства сучасних картографічних сервісів, зокрема *Copernicus*, для системного моніторингу змін лісового покриву. Застосування супутникових знімків та індексів рослинності дозволяє оперативно виявляти ділянки з деградацією або відновленням лісів, що забезпечує своєчасне прийняття управлінських рішень. Доцільним є регулярне оновлення даних про стан лісових масивів на основі дистанційного зондування Землі для підвищення точності планування лісгосподарських заходів. Рекомендується створити інтегровані системи обліку та аналізу даних, які поєднують супутникову інформацію з таксаційними матеріалами. Особливу увагу слід приділити навчанню спеціалістів у сфері геоінформаційних технологій, що сприятиме ефективному використанню новітніх інструментів у повсякденній діяльності надлісництв. Також доцільно використовувати результати супутникового моніторингу при плануванні рубок, оцінці ефективності лісовідновлення та підготовці екологічної звітності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабій Л., Грицьків Н. Космічні методи ДЗЗ у вирішенні задач лісового господарства Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник. 2007. Вип. 68. С. 200–204.
2. Костюк В. С., Гайдаржи К. Г. Дистанційний моніторинг динаміки лісового фонду на прикладі Житомирського Полісся *Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми та перспективи розвитку природничих наук»* (Житомир, 15 квітня 2021 р.). Житомир: ЖДУ імені Івана Франка, 2021. С. 85–86. URL: http://eprints.zu.edu.ua/34251/1/Костюк_Гайдаржи_тези.pdf
3. Миронюк В. В., Білоус А. М. Узгодженість оцінок площі лісів за даними глобальної карти змін лісового покриву і мультиспектральних супутникових знімків *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2017. Вип. 27(5). С. 38–42. DOI: 10.15421/40270507.
4. Проект організації та розвитку лісового господарства Чернігівського надлісництва філії «Північний лісовий офіс» ДП «Ліси України». ВО «Укрдержліспроєкт». Ірпінь, 2021. 200 с.
5. Токар О., Король М., Гаврилук С., Цуняк А. Використання супутникових знімків для оцінювання таксаційних показників лісових насаджень *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2017. № 867. С. 123–129. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/dec/7552/tokar.pdf>
6. Цуняк А. М., Часковський О. Г., Король М. М. Розподіл наземного вкриття Стрийсько-Сянської височини на основі супутникових знімків LANDSAT *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.14. С. 27–32.
7. Часковський О. Г., Гриник Г. Г. Оцінювання втрат лісового покриву Українських Карпат дистанційними методами за матеріалами відкритих

- джерел супутникової інформації. Науковий вісник НЛТУ України. 2020. Т. 30, № 1. С. 66–73. DOI: [10.36930/40300111](https://doi.org/10.36930/40300111).
8. Buchhorn M., Smets B., Bertels L., Lesiv M., Tsendbazar N. E., Masiliūnas D., Li L., Tarko A., Herold M., Fritz S. Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Collection 3: epoch 2019: Globe Zenodo. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939038>
 9. Copernicus Forest Monitoring for REDD+ and Biodiversity. Copernicus REDD Service. 2023. Режим доступу: <https://www.reddcopernicus.info/>
 10. Copernicus Global Land Cover and Tropical Forest Mapping and Monitoring Service. European Commission and VITO. URL: <https://land.copernicus.eu/en/news/copernicus-global-land-cover-and-tropical-forest-mapping-and-monitoring-service-awarded>
 11. Copernicus Land Monitoring Service. High Resolution Layer Forest Type. URL: <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests> (дата звернення: 01.06.2025).
 12. Copernicus Land Monitoring Service. Observer: Monitoring the World's Forests with Copernicus Land. URL: <https://www.copernicus.eu/en/news/news/observer-monitoring-worlds-forests-copernicus-land> (дата звернення: 01.06.2025).
 13. Copernicus. Copernicus supports forest monitoring for the benefit of climate, environment, and natural resources. URL: <https://www.copernicus.eu/en/news/news/observer-copernicus-supports-forest-monitoring-benefit-climate-environment-and-natural> (дата звернення: 01.06.2025).
 14. Drašković B., Gutalj M., Stjepanović S., Miletić B. Estimating recent forest losses in Bosnia and Herzegovina by using the Copernicus and CORINE land cover databases Šumarski list. 2021. Vol. 145, №11–12. P. 581–589. DOI: [10.31298/sl.145.11-12.7](https://doi.org/10.31298/sl.145.11-12.7).
 15. ESA WorldCover 2020. European Space Agency. URL: <https://esa-worldcover.org>.

16. European Forest Observatory. Global mapping and monitoring of forests. URL: <https://forest-observatory.ec.europa.eu/forest> (дата звернення: 01.06.2025).
17. EvoLand: Evolution of the Copernicus Land Monitoring Service. Copernicus. URL: <https://www.evo-land.eu/> (дата звернення: 01.06.2025).
18. Forest monitoring study reveals future Copernicus synergies. Sentinel Online. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/news/-/article/forest-monitoring-synergies> (дата звернення: 01.06.2025).
19. Govedar Z., Anikić N. Vegetation indices monitoring by using Copernicus data in the old-growth forests of the Republic of Srpska Bosnia and Herzegovina *Frontiers in Forests and Global Change*. 2024. Vol. 7. Article ID 1354769. DOI: 10.3389/ffgc.2024.1354769.
20. GSE Forest Monitoring (GSE-FM). European Space Agency. URL: <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-forests-and-tree-cover> (дата звернення: 01.06.2025).
21. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R. et al. Sentinel-2 data in an evaluation of the impact of the disturbances on forest vegetation *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, №12. Article ID 1901. DOI: 10.3390/rs12121901.
22. Helber P., Bischke B., Dengel A., Borth D. EuroSAT: A novel dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2019. Vol. 12, №6. P. 2217–2226. DOI: 10.1109/JSTARS.2019.2905774.
23. Hirschmugl M., Gallaun H., Dees M. et al. Methods for mapping forest disturbance and degradation from optical Earth observation data. *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9, №9. P. 823. DOI: 10.3390/rs9090823.
24. Immitzer, M., Vuolo, F., & Atzberger, C. (2016). *First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe*. *Remote Sensing*, 8(3), 166. DOI: 10.3390/rs8030166

25. Nowak D., Kowalski M. Mapping of tree species in Poland using Sentinel-2 time series and machine learning. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, №8. Article ID 1905. – DOI: 10.3390/rs14081905.
26. 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. Vol. 31, №1. P. 1–15. DOI: 10.2478/ceer-2021-0054.
27. Popescu D., Ionescu A. Assessment of forest cover changes in the Olt River basin, Romania, using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. EGU General Assembly. Abstract EGU24-11123. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU24/EGU24-11123.html>.
28. Sentinel Hub API. Deforestation Monitoring using Sentinel 2 and xarray. URL: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/> (дата звернення: 01.06.2025).
29. Wieland M., Pittore M., Pozzobon R. Automated updating of forest cover maps from cloud-free Sentinel-2 mosaic images using object-based image analysis and machine learning methods. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2020. Vol. V-3-2020. P. 741–748. URL: <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/V-3-2020/803/2020/>
30. Zhang X., Zhao T., Xu H. та ін. GLC_FCS30D: the first global 30 m land-cover dynamics monitoring product with a fine classification system from 1985 to 2022. *Earth System Science Data*. 2024. Vol. 16, №3. P. 1353–1372. DOI: 10.5194/essd-16-1353-2024.