

**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: **Методи картографування суцільних рубань за допомогою
картографічного сервісу Copernicus**

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

_____ (підпис)

Роман БРИК

_____ (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 БЛОУС

(підпис)

(ПІБ)

_____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Брику Роману Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 205 – Лісове господарство

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Методи картографування
суцільних рубань за допомогою картографічного сервісу Copernicus

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

Термін подання завершеної роботи на кафедрі 02.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: проект організації та
розвитку лісового Шепетівського надлісництва філії «Подільський лісовий
офіс ДП «Ліси України», Copernicus».

Перелік питань, які потрібно розробити:

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

Дата видачі завдання 20.05.2024 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Андрій ТЕРЕНТЬЄВ

(підпис)

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

Роман БРИК

(підпис)

(ПІБ)

Зміст	
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	8
1.1. Визначення, класифікація, еколого-економічне значення суцільних рубок та роль дистанційного зондування Землі у лісовому господарстві та моніторингу змін.....	8
1.2. Картографічний сервіс Copernicus як інструмент моніторингу лісів.....	16
РОЗДІЛ 2 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
4.1. Коротка характеристика підприємства.....	26
4.2. Методика досліджень.....	35
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА КАРТОГРАФУВАННЯ СУЦІЛЬНИХ РУБАНЬ.....	39
ВИСНОВКИ.....	50
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

РЕФЕРАТ

Випускна бакалаврська кваліфікаційна робота виконана на 54 аркушах друкованого тексту та містить вступ, 3 розділи, висновки та рекомендації виробництву, список використаних літературних джерел. Робота проілюстрована 4 таблицями та 11 рисунками.

У бакалаврській роботі використано матеріали Шепетівського надлісництва філії «Подільський лісовий офіс» ДП «Ліси України» та екосистему Data Space Copernicus як інформаційну базу дослідження. На основі відкритих даних було проведено візуальний аналіз змін лісового покриву за 2018-2024 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 осмисленню основних термінів та понять, пов'язаних із дистанційним моніторингом змін на основі відкритих даних.

Другий розділ роботи містить в собі аналіз об'єкту дослідження, включаючи його характеристику та детальний опис структурної організації. Особливу увагу приділено вивченню природно-кліматичних 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 2018 по 2024 роки. Особлива увага приділена ідентифікації ділянок на яких відбулась зміна.

Практична цінність отриманих результатів полягає у продемонстрованій ефективності застосування сучасних картографічних сервісів, зокрема Copernicus, для оперативного та об'єктивного моніторингу динаміки лісового покриву. Отримана методика та дані можуть бути імплементовані у практичну діяльність у сферах екологічного моніторингу, лісовпорядкування, а також для оцінки впливу господарської діяльності на лісові екосистеми. Систематичне

використання супутникових даних слугує надійною інформаційною основою для підвищення ефективності управлінських рішень, спрямованих на збереження та стале використання лісових ресурсів. Таким чином, робота має як прикладну, так і наукову цінність, формуючи базис для подальших, більш поглиблених досліджень трансформаційних процесів у лісах.

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. Лісове покриття, дистанційний моніторинг лісів, Copernicus, Sentinel-2, супутникові знімки, ГІС.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Визначення, класифікація, еколого-економічне значення суцільних рубок та роль дистанційного зондування Землі у лісовому господарстві та моніторингу змін

Суцільні рубки, як одна з ключових систем лісогосподарських заходів, являють собою комплекс дій, що передбачає одноприймне повне або умовно-повне вирубування деревостану на визначеній лісосіці. Цей метод належить до головного користування лісом і має на меті не лише заготівлю деревини, але й створення оптимальних умов для подальшого ефективного лісовідновлення. Його застосування є предметом ретельного наукового аналізу та суворого нормативно-правового регулювання.

В Україні правові та екологічні аспекти проведення суцільних рубок регламентуються низкою законодавчих актів, центральне місце серед яких посідають Лісовий кодекс України та спеціалізований нормативний документ "Правила рубок головного користування". Ці документи встановлюють вичерпний перелік умов та критеріїв, за наявності яких призначення суцільнолісосічних рубок є технічно, економічно та екологічно доцільним [6].

Згідно з чинною нормативною базою, призначення суцільних рубок обґрунтовується в таких випадках:

Суцільні рубки призначаються у насадженнях, де наступне відтворення лісу можливе переважно або виключно шляхом створення лісових культур. Це стосується випадків, коли необхідно ввести у склад майбутнього деревостану інтродуковані або швидкорослі породи, здійснити сортозаміну, або коли природне поновлення економічно цінних порід є неможливим чи неефективним через біологічні особливості порід або екологічні умови ділянки (наприклад, високий рівень задерніння ґрунту).

Парадоксально, але повне видалення материнського деревостану може створювати сприятливі мікрокліматичні умови (зокрема, різке збільшення освітленості) для успішного природного поновлення світлолюбних піонерних порід (наприклад, сосни, берези), насіння яких наявне в ґрунті або може бути занесене з прилеглих ділянок.

Низка лісівничо-таксаційних характеристик деревостану може унеможливити застосування інших, більш щадних систем рубок (поступових чи вибіркових). До таких показників належать:

У перестиглих одновікових деревостанах, які втратили біологічну стійкість та продуктивність, поступове розрідження є недоцільним.

Насадження, що значно пошкоджені шкідниками, хворобами, промисловими викидами чи зазнали катастрофічного впливу стихійних явищ (пожежі, буреломи), підлягають суцільній санітарній рубці для запобігання поширенню патогенів та відновлення екологічної стабільності.

У певних типах лісорослинних умов, особливо на перезволожених ґрунтах або для порід з поверхневою кореневою системою, проведення поступових чи вибіркових рубок порушує цілісність наметового покриву. Це призводить до різкого збільшення вітрового навантаження на окремі дерева, які не адаптовані до таких умов, і, як наслідок, до масового вітровалу чи бурелому. У таких випадках суцільна рубка є превентивним заходом для уникнення неконтрольованої втрати лісового фонду.

Суцільні рубки є обґрунтованими у м'яколистяних (осикових, березових) та грабових деревостанах, які є похідними і мають низьку продуктивність та цінність. Ключовою умовою є відсутність під їхнім наметом достатньої кількості життєздатного підросту господарсько-цінних, корінних порід (наприклад, дуба, ясена, сосни). Аналогічний підхід застосовується і до будь-яких низькоповнотних (зріджених) деревостанів, у яких відсутнє перспективне молоде покоління головних лісотвірних порід.

Таким чином, суцільна рубка в сучасному лісовому господарстві України розглядається не як акт виснажливого лісокористування, а як

регульований інструмент, що застосовується на основі комплексного аналізу екологічних та таксаційних параметрів насадження з метою забезпечення його своєчасного і якісного відтворення [6].

У лісівничій теорії та практиці суцільні рубки диференціюються за технологією та метою проведення. Основними типами є суцільнолісосічні та умовно-суцільні рубки, які мають суттєві відмінності у методології та екологічних наслідках.

Суцільнолісосічна рубка є технологічно регламентованим заходом, що передбачає повне видалення деревостану на чітко відмежованій території (лісосіці). Цей вид рубки характеризується такими ключовими параметрами:

Проведення лісозаготівельних операцій обмежується, як правило, одним роком. Вилученню підлягає весь деревостан, за винятком можливого збереження окремих насінневих дерев або куртин для сприяння природному лісовідновленню. Чітке визначення площі та меж лісосіки. Цей метод є домінуючим у системі рубок головного користування в регіонах з інтенсивним лісовим господарством, де він є передумовою для подальшого створення високопродуктивних лісових культур.

Умовно-суцільна рубка є переважно історичним методом, що застосовувався в умовах екстенсивного лісокористування та нерозвиненого ринку деревини. Він полягав у нерегламентованому вилученні лише найбільш ліквідної (великомірної та цінної) частини деревостану. Така практика призводила до низки негативних екологічних наслідків:

Формування низькопродуктивних, нестійких деревостанів із залишків малоцінних порід. Захарщення лісових ділянок, що створює сприятливі умови для розвитку шкідників та хвороб. Зростання пожежної небезпеки та загальне погіршення фітосанітарного стану лісових екосистем.

Слід наголосити, що сучасна лісогосподарська діяльність в Україні суворо регламентована. Планування та проведення будь-яких суцільних рубок (як головного користування, так і санітарних), а також поступових рубок, підпадають під дію Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» (ОВД). Ця

процедура вимагає всебічного аналізу потенційних екологічних наслідків запланованої діяльності. Окрім того, всі види рубок повинні неухильно відповідати вимогам, встановленим у «Санітарних правилах в лісах України», що забезпечує контроль за фітосанітарним станом лісових насаджень [3, 6].

Суцільні рубки спричиняють глибоку і стрімку трансформацію лісових екосистем, ініціюючи каскад негативних екологічних наслідків. Раптове та повне видалення деревостану на значній площі призводить до докорінної зміни абіотичних параметрів середовища, що є пусковим механізмом для подальших деградаційних процесів. Ліквідація лісового намету спричиняє різке зростання інсоляції, амплітуди добових температур та швидкості вітру біля поверхні, що дестабілізує гідрологічний баланс водозбірних басейнів. Одночасно, оголення ґрунту та руйнування його кореневої структури підвищує ризики розвитку водної та вітрової ерозії, особливо на схилах, що може призвести до незворотної втрати родючого гумусового горизонту.

У глобальному масштабі ці зміни впливають на кліматичні процеси. Суцільні рубки перетворюють лісові екосистеми з поглиначів вуглецю на його чисті джерела, оскільки різке скорочення фотосинтетичної активності трансформує ділянку на емітер CO₂. Наукові дослідження підтверджують, що на осушених торфовищах після суцільної рубки значно зростають емісії не лише діоксиду вуглецю, а й потужніших парникових газів метану (CH₄) та закису азоту (N₂O) на початкових етапах сукцесії.

Не менш значущим є вплив на біологічне різноманіття. Знищення лісового середовища існування призводить до зникнення або міграції багатьох видів флори і фауни, тісно пов'язаних з лісом. Цей процес ускладнюється тим, що супутня лісозаготівельна інфраструктура, як-от трелювальні волоки та дороги, спричиняє механічне руйнування і подальшу фрагментацію оселищ, що ускладнює переміщення та генетичний обмін між популяціями диких тварин [13, 21, 34].

Існуючий виклик між економічною доцільністю та екологічними ризиками, іманентно властивий технології суцільних рубок, зумовлює критичну

необхідність впровадження системи комплексного моніторингу лісокористування. Такий моніторинг виходить за межі суто правоохоронної функції контролю за нелегальними рубками. Його фундаментальна мета полягає у науково обґрунтованій оцінці довгострокових кумулятивних ефектів від легітимної лісосічної діяльності. Це включає верифікацію відповідності проведених робіт затвердженим екологічним нормативам, а також об'єктивний аналіз успішності та динаміки процесів лісовідновлення на вирубках.

Водночас, ефективність моніторингу, особливо при використанні методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), стикається з методологічними викликами. Різні морфологічні типи рубок, як-от регламентовані суцільнолісосічні та історичні умовно-суцільні, формують різний спектральний відгук на супутникових знімках через відмінності у кількості залишеної деревини, порушенні ґрунтового покриву та характері рослинності. Ця варіативність вимагає розробки диференційованих алгоритмів для їх детектування та класифікації, а також ретельної валідації результатів для уникнення помилкової інтерпретації даних.

Технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) утвердилися як фундаментальний інструмент у сучасному лісовому господарстві та системах екологічного моніторингу. Ключові переваги даного підходу полягають у здатності до оперативного, систематичного та об'єктивного збору даних на великих просторових масштабах, що забезпечує значну економічну ефективність у порівнянні з традиційними методами наземної таксації.

Спектр застосування супутникових даних у лісівництві охоплює вирішення як наукових, так і прикладних господарських завдань. Зокрема, дані ДЗЗ є основою для проведення лісової інвентаризації, кількісної оцінки параметрів насаджень, таких як біомаса та запас деревини, а також для моніторингу фізіологічного стану та здоров'я лісових екосистем. Вони дозволяють здійснювати оперативне детектування та картографування порушень, спричинених природними факторами, як-от лісові пожежі чи пошкодження біотичними шкідниками. Окремим стратегічно важливим

напрямом є контроль за антропогенними змінами лісового покриву, що включає виявлення несанкціонованих рубок та моніторинг дотримання встановлених норм лісокористування [23, 24, 26].

Еволюція методів дистанційного зондування для моніторингу лісів характеризується послідовним технологічним переходом від аналізу аерофотознімків до обробки даних з піонерських космічних місій, як-от програма Landsat. Сучасний етап розвитку пов'язаний із функціонуванням глобальних супутникових угруповань, яскравим прикладом яких є система Sentinel в рамках європейської програми Copernicus.

Сучасні пасивні оптичні сенсори, зокрема мультиспектральні, дозволяють реєструвати відбивну здатність рослинності у вузьких діапазонах електромагнітного спектра. Ці дані є фізичною основою для розрахунку широкого спектра вегетаційних індексів, що використовуються для точної класифікації типів земного покриву та оцінки біофізичних параметрів насаджень.

Водночас, активні системи мікрохвильового діапазону, зокрема радари із синтезованою апертурою (SAR), надають унікальну можливість отримання зображень поверхні незалежно від хмарного покриву та рівня сонячного освітлення. Ця здатність до всепогодного та цілодобового моніторингу має вирішальне значення для забезпечення оперативності контролю в регіонах із несприятливими метеорологічними умовами, особливо в осінньо-зимовий період [14, 22, 26].

Ключовим трендом сучасного етапу розвитку дистанційного зондування є парадигмальний зсув у бік лібералізації доступу до геопросторових даних та аналітичних інструментів. Цей процес, що отримав назву «демократизація ДЗЗ», обумовлений двома головними чинниками. По-перше, це політика відкритих даних, яскравим прикладом якої є європейська програма Copernicus, що надає глобальний, безкоштовний та повноцінний доступ до архіву супутникових знімків угруповання Sentinel. По-друге, це розвиток хмарних обчислювальних платформ, зокрема Google Earth Engine (GEE), які надають

потужні обчислювальні ресурси для обробки петабайтів даних безпосередньо у веб-браузері.

Синергія цих факторів докорінно змінила ландшафт користувачів супутникової інформації. Монополія великих державних та комерційних структур на роботу з даними ДЗЗ була значною мірою нівельована. Це сприяло експоненційному розширенню спільноти користувачів, залучивши до процесів моніторингу академічні інституції, неурядові громадські організації та ініціативи в рамках громадянської науки (citizen science). Як наслідок, виникли нові форми партисипативного контролю за станом довкілля, зокрема за лісовими ресурсами, що ілюструється діяльністю таких проєктів, як "Deer Green Ukraine", які використовують загальнодоступні супутникові дані для здійснення громадського нагляду за лісозаготівельною діяльністю [18, 25, 26].

Незважаючи на доведену ефективність, технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) не є вичерпним або самодостатнім інструментом для вирішення всього спектра завдань лісового моніторингу. Інтерпретація супутникових даних є складною аналітичною процедурою, що вимагає високого рівня кваліфікації та експертних знань. Достовірність кінцевих інформаційних продуктів, отриманих за допомогою ДЗЗ, демонструє багатофакторну залежність від цілої низки параметрів. До них належать технічні характеристики сенсора (просторова, спектральна, радіометрична та часова роздільна здатність), коректність застосованих алгоритмів попередньої обробки та аналізу, а також специфічні фізико-географічні умови досліджуваної території, зокрема складність рельєфу, типологічна структура лісових насаджень та метеорологічні умови.

Зазначені обмеження зумовлюють фундаментальну важливість процедур валідації та верифікації результатів. Невід'ємним етапом будь-якого дослідження із застосуванням ДЗЗ є порівняльний аналіз отриманих даних із референтними наземними вимірюваннями (ground-truthing) або знімками вищої просторової роздільної здатності. Отже, забезпечення сталого управління лісовими ресурсами можливе лише на основі синергетичної інтеграції методів

дистанційного зондування з даними наземних спостережень та експертним лісівничим аналізом, що формує комплексну багаторівневу систему моніторингу [11, 24].

1.2. Картографічний сервіс Copernicus як інструмент моніторингу лісів

Програма Copernicus є стратегічною ініціативою Європейського Союзу у сфері спостереження Землі, що функціонує як комплексна система для надання глобальної, оперативної та достовірної геопросторової інформації. В основі її архітектури лежить потужний космічний сегмент, який забезпечує збір первинних даних і включає як власні спеціалізовані супутникові угруповання Sentinel, так і дані від допоміжних місій (Contributing Missions). Отримана з космосу інформація приймається, обробляється та розповсюджується за допомогою розгалуженого наземного сегменту, що відповідає за калібрування, валідацію, довгострокове архівування величезних масивів даних та надання доступу до них. Кінцевою і найбільш прикладною ланкою програми є сервісний сегмент, який трансформує ці необроблені дані у готові до використання тематичні продукти. Через шість основних сервісів, зокрема моніторинг атмосфери, морського середовища, суходолу, зміни клімату, управління надзвичайними ситуаціями та безпеки Copernicus надає стандартизовану інформацію для підтримки прийняття рішень у відповідних галузях [12, 16, 18, 33].

Фундаментальним принципом, що визначає функціонування та вплив програми Copernicus, є її політика повного, вільного та безкоштовного доступу до даних. Цей підхід гарантує будь-якому користувачеві право на отримання та використання геопросторових даних і похідних інформаційних продуктів для будь-яких цілей, включно з науковими дослідженнями, розробкою комерційних додатків та державним управлінням. Така ліберальна політика діє як потужний

каталізатор для інновацій, значно розширюючи впровадження технологій ДЗЗ у різноманітних секторах економіки.

Центральним елементом програми, що трансформує первинні супутникові дані у прикладну інформацію, є сервісний компонент, структурований за шістьма тематичними напрямками. Сервіс моніторингу атмосфери (CAMS) надає дані про хімічний склад атмосфери та якість повітря. Сервіс моніторингу морського середовища (CMEMS) забезпечує інформацією про фізичний та біогеохімічний стан океанів. Сервіс моніторингу земель (CLMS) пропонує продукти, що характеризують земельний покрив, його зміни та біофізичні параметри рослинності, що робить його ключовим джерелом даних для завдань моніторингу лісів та лісозаготівельної діяльності. У свою чергу, сервіс моніторингу зміни клімату (C3S) надає авторитетні кліматичні дані та прогнози. Для вирішення кризових завдань функціонують сервіс управління надзвичайними ситуаціями (EMS), що надає оперативну картографічну підтримку під час катастроф, та сервіс безпеки (Security Service), який підтримує відповідні політики Європейського Союзу.

Доступ до цього величезного масиву даних та продуктів організований через екосистему порталів, центральним з яких на сьогодні є Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE). Ця платформа еволюціонувала від простого сховища даних до інтегрованого середовища, що пропонує користувачам не лише завантаження знімків, але й потужні інструменти для їх візуалізації, обробки "на вимогу" та безпосередній доступ до хмарних обчислювальних ресурсів для проведення власного аналізу [15, 17].

Стратегічна цінність програми Copernicus полягає не стільки в наданні масивів супутникових даних, скільки у формуванні комплексної інформаційної екосистеми, що генерує стандартизовані та валідовані продукти й послуги. Завдяки цьому забезпечується методологічна узгодженість та просторово-часова зіставність результатів моніторингу, що дозволяє проводити гармонізований аналіз стану довкілля на великих, зокрема транскордонних, територіях. Така можливість має фундаментальне значення для вирішення

глобальних та регіональних екологічних викликів, як-от моделювання транскордонного перенесення забруднювачів, оцінка кумулятивного впливу зміни клімату на лісові екосистеми, а також для координації міжнародних зусиль у боротьбі з незаконною лісозаготівлею та деградацією лісів.

Водночас еволюція механізмів доступу до даних, що втілена у платформах на кшталт Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE), є відображенням глобального парадигмального зсуву в роботі з геопросторовими "великими даними" (Big Data). Цей зсув полягає у переході від локальної обробки завантажених даних до їх аналізу безпосередньо у хмарних середовищах. Такий підхід значно знижує вимоги до обчислювальної та дискової інфраструктури кінцевих користувачів, тим самим демократизуючи та спрощуючи роботу з петабайтними архівами даних Sentinel [12, 17, 29, 33].

Основою космічного сегменту програми Copernicus є угруповання супутників Sentinel, кожне з яких розроблено для вирішення специфічних завдань моніторингу Землі. У контексті лісового моніторингу, зокрема для ідентифікації та картографування ділянок суцільних рубок, найбільш релевантними та синергетично доповнюючими є дані, що надходять від двох ключових місій: Sentinel-1 та Sentinel-2.

Sentinel-1 складається з супутників, оснащених радіолокатором із синтезованою апертурою (SAR), який працює у С-діапазоні. Його ключова перевага полягає у здатності отримувати зображення незалежно від хмарності та рівня сонячного освітлення, що забезпечує можливість надійного та систематичного моніторингу. Для виявлення рубок аналізуються зміни у характеристиках зворотного розсіяння радіолокаційного сигналу, які виникають внаслідок видалення деревної біомаси та порушення структури поверхні.

Sentinel-2 забезпечує мультиспектральну оптичну зйомку високої роздільної здатності у 13 спектральних каналах. Видалення лісового покриву призводить до різких змін спектральної відбивної здатності поверхні, особливо у червоному (Red), ближньому інфрачервоному (NIR) та короткохвильовому

інфрачервоному (SWIR) діапазонах. Це дозволяє надійно ідентифікувати вирубані ділянки та розраховувати різноманітні вегетаційні індекси (наприклад, NDVI, NBR) для кількісної оцінки змін.

Місія Sentinel-1 є радіолокаційною компонентою програми Copernicus, що складається з угруповання супутників (Sentinel-1A, Sentinel-1C та історично Sentinel-1B), оснащених ідентичними сенсорами радарів із синтезованою апертурою (SAR), що функціонують у С-діапазоні (центральна частота 5.405 ГГц, довжина хвилі ≈ 5.55 см). Фундаментальною перевагою технології SAR є здатність до всепогодного та цілодобового моніторингу, що нівелює залежність від хмарності та сонячного освітлення і є критично важливим для оперативного контролю територій зі складною метеорологічною обстановкою. Стандартним режимом зйомки над суходолом є Interferometric Wide swath (IW), що забезпечує ширину смуги огляду 250 км при просторовій роздільній здатності близько 5×20 метрів. Завдяки орбітальній конфігурації угруповання, часова роздільна здатність (періодичність повторної зйомки) для більшості регіонів Європи досягає 6 діб. Можливість отримання даних у різних комбінаціях поляризації (наприклад, VV+VH) надає високу чутливість до структурних характеристик об'єктів, вологості ґрунту та об'єму біомаси, що дозволяє ефективно застосовувати дані Sentinel-1 для детектування різноманітних порушень лісового покриву, від суцільних рубок до проявів вибіркової лісозаготівлі [22, 28, 30].

Місія Sentinel-2 являє собою оптичну компоненту програми, що складається з угруповання супутників, оснащених ідентичними мультиспектральними сенсорами (MSI). Ці сенсори реєструють відбивну здатність земної поверхні у 13 спектральних каналах у видимому, червоному краю (Red Edge), ближньому (NIR) та короткохвильовому (SWIR) інфрачервоному діапазонах. Система має змінну просторову роздільну здатність: 10 м для основних видимих та NIR каналів, 20 м для каналів червоного краю та SWIR, і 60 м для каналів, що використовуються переважно для атмосферної корекції. При ширині смуги огляду 290 км, часова роздільна

здатність на екваторі з двома активними супутниками становить 5 діб. Багатий набір спектральних каналів, особливо наявність кількох каналів у діапазоні "червоного краю", робить дані Sentinel-2 надзвичайно інформативними для кількісної оцінки біофізичних параметрів рослинності (індекс листової поверхні (LAI), вміст хлорофілу) та моніторингу її фізіологічного стану. Це дозволяє надійно ідентифікувати та класифікувати зміни в лісових екосистемах, спричинені як антропогенними (рубки, пожежі), так і природними (хвороби, вітровали) чинниками [19, 26, 31, 32]

Синергетична інтеграція даних, отриманих від місій Sentinel-1 та Sentinel-2, є фундаментальним підходом, що значно підвищує ефективність моніторингу суцільних рубок. Принцип комплементарності полягає у поєднанні унікальних переваг оптичних та радіолокаційних систем для отримання більш повного та достовірного уявлення про зміни у лісових екосистемах.

Так, мультиспектральні дані Sentinel-2 надають детальну інформацію про спектральні характеристики поверхні, що є критично важливим для ідентифікації змін у фізіологічному стані рослинності та точної класифікації типів земного покриву до та після рубки. Водночас радіолокаційні дані Sentinel-1, завдяки своїй здатності до всепогодної зйомки, гарантують часову щільність та безперервність спостережень, що є недосяжним для оптичних систем у регіонах із частою хмарністю. Дані SAR чутливі до структурних параметрів лісу таких як висота, щільності та об'ємної вологості деревостану і чітко фіксують їх різку зміну внаслідок лісозаготівлі.

Поєднання цих двох типів даних за допомогою методів синтезу (data fusion) дозволяє створити гібридний інформаційний продукт, який одночасно враховує і спектральні, і структурні зміни. Такий підхід значно підвищує робастність (надійність) та точність алгоритмів детектування рубок, мінімізує кількість хибних спрацьовувань та підвищує загальну оперативність системи моніторингу, ефективно компенсуючи обмеження, властиві кожному сенсору окремо [23, 27].

Для дипломної роботи, присвяченої картографуванню суцільних рубок, вибір оптимального сенсора або їх комбінації залежить від специфіки досліджуваної території та завдань. Наприклад, у гірських районах України (Карпати), де часто спостерігається висока хмарність, перевага Sentinel-1 у забезпеченні неперервного потоку даних є очевидною. Однак для точного визначення меж рубок, оцінки типу вирубаного лісу та моніторингу стану відновлення після рубки, дані Sentinel-2 з їхньою багатою спектральною інформацією є незамінними. Висока часова роздільна здатність обох систем (5-6 днів) є критично важливою для оперативного виявлення рубок, особливо незаконних, та для точного датування подій, що дозволяє не просто констатувати факт рубки раз на рік, а відстежувати динаміку лісосічних робіт майже в реальному часі. Це має вирішальне значення для своєчасного реагування та запобігання подальшій незаконній діяльності [7, 20].

Нижче наведена таблиця 1.1, що узагальнює ключові характеристики супутників Sentinel-1 та Sentinel-2, релевантні для моніторингу рубок.

Аналіз часових рядів супутникових знімків є одним з найпотужніших підходів для виявлення змін земного покриву, включаючи суцільні рубки. Висока періодичність отримання даних супутниками Sentinel-1 та Sentinel-2 дозволяє будувати щільні часові ряди спостережень, що фіксують динаміку лісових територій та дозволяють ідентифікувати різкі зміни, характерні для рубок.

Порівняльна характеристика супутників Sentinel-1 та Sentinel-2 для моніторингу рубок

Параметр	Sentinel-1	Sentinel-2
Тип сенсора	Радіолокатор із синтезованою апертурою (SAR)	Мультиспектральний оптичний сенсор (MSI)
Спектральні канали/Частота	C-діапазон (~5.405 GHz)	13 спектральних каналів (видимий, NIR, Red Edge, SWIR)
Просторова роздільна здатність (основні канали для лісу)	Режим IW: 5 x 20 м	10 м (B2, B3, B4, B8), 20 м (B5, B6, B7, B8a, B11, B12)
Часова роздільна здатність (з 2 супутниками)	6 днів (глобально)	5 днів (на екваторі)
Ширина смуги огляду	IW: 250 км	290 км
Основні переваги для моніторингу рубок	Всепогодність, зйомка вдень/вночі, чутливість до структури лісу, змін біомаси та вологості	Висока спектральна деталізація, чутливість до стану рослинності, можливість розрахунку вегетаційних індексів, розрізнення типів лісу
Основні недоліки/обмеження	Складніша обробка даних, насичення сигналу в дуже густих лісах (для C-діапазону), геометричні спотворення	Залежність від хмарності та освітлення, менша чутливість до тонких структурних змін під щільним пологом

Побудова часових рядів значень обраних індексів для кожної ділянки (пікселя) дозволяє відстежувати динаміку рослинності. Різке та стійке падіння значень вегетаційних індексів, таких як NDVI або NBR, зазвичай вказує на видалення лісового покриву внаслідок рубки. Для виявлення таких змін часто розраховують різниці між сезонними максимальними значеннями індексів (наприклад, NDVI та NBR) та мінімальними значеннями (наприклад, NDWI)

для послідовних років або сезонів, а потім застосовують порогові значення до цих різниць для ідентифікації ділянок змін [14, 26, 32].

Висновки до 1-го розділу

У першому розділі дипломної роботи обґрунтовано доцільність застосування сучасних веб-картографічних сервісів для моніторингу динаміки лісового покриву. Проаналізовано ключові характеристики, функціонал та переваги програми Copernicus як провідного інструменту в системі дистанційного зондування Землі. Розкрито сутність поняття "лісовий покрив", розглянуто фактори його змін (природні та антропогенні) та наголошено на актуальності їх дослідження. Таким чином, у розділі сформовано науково-теоретичне підґрунтя для вирішення практичних завдань у наступних частинах роботи.

Суцільні рубки є інструментом ведення лісового господарства: з одного боку, це легалізований лісогосподарський захід, що регулюється законодавством України ("Правилами рубок головного користування", Лісовим кодексом) для цілей лісовідновлення та трансформації насаджень. З іншого боку, вони є джерелом глибоких негативних екологічних наслідків, включаючи деградацію ґрунтів, перетворення лісів на джерела викидів CO₂, втрату біорізноманіття та загальну дестабілізацію екосистем.

Технології ДЗЗ є основою сучасного моніторингу лісів: Дистанційне зондування Землі, зокрема в рамках європейської програми Copernicus, стало фундаментальним інструментом для об'єктивної оцінки стану лісового фонду. Воно дозволяє оперативно виявляти зміни, такі як рубки, на великих територіях, що недосяжно для традиційних наземних методів, і є ключовим для контролю як легальної, так і незаконної лісозаготівельної діяльності.

Поєднання даних радіолокаційного супутника Sentinel-1 (який працює за будь-якої погоди і чутливий до структури лісу) та оптичного Sentinel-2 (який

надає детальну спектральну інформацію про стан рослинності) є найефективнішим підходом. Такий синтез компенсує недоліки кожного окремого сенсора, значно підвищуючи надійність, точність та оперативність моніторингу, особливо в умовах високої хмарності.

Політика відкритих даних програми Copernicus та розвиток хмарних обчислювальних платформ (як Google Earth Engine) зробили супутникові дані та інструменти їх аналізу доступними широкому колу користувачів. Це дозволило не лише державним органам, а й науковцям, громадським організаціям (напр., "Deep Green Ukraine") та активістам здійснювати ефективний контроль за лісами, що посилює прозорість у галузі.

Попри свою потужність, супутниковий моніторинг не є самодостатнім. Достовірність результатів залежить від багатьох факторів і вимагає обов'язкової верифікації та порівняння з даними наземних спостережень. Ефективне управління лісами можливе лише за умови комплексної інтеграції дистанційних методів, наземних обстежень та експертного лісівничого аналізу.

РОЗДІЛ 2

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Коротка характеристика підприємства

Територія діяльності Шепетівського надлісництва охоплює землі Шепетівського адміністративного району, розташованого в північно-східній частині Хмельницької області. Поштова адреса: індекс 30400, м. Шепетівка вул. Героїв Небесної сотні, 113 Електронна адреса: leshos08@ukr.net тел./факс: (03840) 417-48'



Рис. 2.1. Контора Шепетівського надлісництва

У структуру Шепетівського надлісництва входить двадцять лісництв, два нижніх склади деревини, дві транспортні ділянки. Основною виробничою одиницею на підприємстві є лісництво.

Загальна площа земель лісового фонду надлісництва становить 59458 га. Адміністративно-організаційна структура філії наведена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Адміністративно-організаційна структура

Найменування лісництва	Площа, га
Кам'янське лісництво	2371
Пліщинське лісництво	1820,3
Плесенське лісництво	2295
Климентовецьке лісництво	2629,6
Шепетівське лісництво	1882,5
Рудня-Новеньське лісництво	2397,5
Романівське лісництво	5432,4
Мальованське лісництво	6188,6
Полонське лісництво	6400
Понінківське лісництво	2025,2
Хмелівське лісництво	3153,8
Антонінське лісництво	3198,2
Волочиське лісництво	1252,8
Грицівське лісництво	4215,4
Красилівське лісництво	3105,8
Лісогринівецьке лісництво	2716,8
Самчиківське лісництво	2204,5
Сковородецьке лісництво	3173
Старокостянтинівське лісництво	1742,8
Старосинявське лісництво	1252,8
Всього	59458

Діяльність Шепетівського надлісництва охоплює комплекс взаємопов'язаних завдань, які можна систематизувати за наступними функціональними напрямками:

1. Лісогосподарська та екологічна діяльність

Основним напрямом є забезпечення сталого управління лісовими екосистемами. Це включає відтворення лісових ресурсів, підвищення їхньої біопродуктивності та посилення екосистемних послуг (водоохоронних, ґрунтозахисних, кліматорегулюючих). Ключовим завданням є комплексний захист лісів від дестабілізуючих факторів: профілактика та ліквідація лісових

пожеж, боротьба зі шкідниками та хворобами, а також протидія незаконним лісокористуванням та іншим антропогенним пошкодженням.

2. Управління лісовими ресурсами та лісокористування

Цей блок завдань спрямований на раціональне та невиснажливе використання лісових ресурсів. Він передбачає планове освоєння лісосічного фонду з дотриманням науково обґрунтованих норм та правил. Важливим аспектом є управління якістю лісопродукції: забезпечення виходу ділової деревини відповідно до сортиментної структури, відбір високоякісних сортиментів та дотримання державних стандартів на всіх етапах (маркування, облік, зберігання). Також здійснюється заготівля другорядних лісових матеріалів та організація побічних лісокористувань.

3. Ведення мисливського господарства

Надлісництво відповідає за організацію та ведення мисливського господарства на закріплених угіддях. Ця діяльність включає моніторинг чисельності та стану популяцій мисливської фауни, регулювання її використання через організацію полювання, контроль за дотриманням правил, а також проведення необхідних селекційних та ветеринарно-санітарних заходів.

4. Планування, облік та дотримання стандартів

Фундаментом усієї діяльності є науково обґрунтоване планування. Надлісництво здійснює господарську діяльність на основі затверджених матеріалів лісовпорядкування, веде первинний облік лісів та забезпечує періодичне проведення лісовпорядних робіт. Окремим завданням є дотримання національних та міжнародних стандартів лісоуправління та проходження процедур сертифікації лісової продукції.

5. Охорона природи та інфраструктурне забезпечення

До обов'язків надлісництва входить забезпечення дотримання охоронного режиму на територіях та об'єктах природно-заповідного фонду (ПЗФ), розташованих у його межах. Паралельно вирішуються завдання з інфраструктурного забезпечення: експлуатаційне утримання, планування та

проведення поточних і капітальних ремонтів будівель, споруд та інженерних мереж.

6. Охорона праці та цивільний захист

Підприємство несе відповідальність за створення безпечних умов праці, дотримання законодавства з охорони праці та реалізацію заходів у сфері цивільного захисту для захисту персоналу та територій під час надзвичайних ситуацій.

Впровадження системи лісової сертифікації за стандартами FSC (Forest Stewardship Council) у Шепетівському надлісництві філії «Подільський лісовий офіс» ґрунтується на добровільному прийнятті підприємством низки довгострокових зобов'язань. Ці зобов'язання формують основу для переходу на модель сталого та відповідального лісоуправління і охоплюють екологічний, соціальний та організаційний аспекти діяльності.

В екологічній площині підприємство зобов'язується здійснювати практичну імплементацію принципів та критеріїв FSC. Це передбачає використання всіх лісових ресурсів на засадах сталості, а також проведення систематичного моніторингу стану довкілля. Ключовим елементом є постійне вдосконалення виробничих процесів з метою мінімізації їхнього негативного впливу та впровадження превентивних заходів для захисту навколишнього природного середовища.

Соціальний компонент зобов'язань включає розбудову прозорого діалогу із зацікавленими сторонами (стейкхолдерами). Підприємство зобов'язується проводити консультації з питань планування та ведення господарства, а також активно сприяти соціальному та економічному розвитку місцевих громад.

В організаційно-управлінській сфері зобов'язання спрямовані на забезпечення високого рівня компетентності персоналу. Гарантується, що всі працівники, діяльність яких має суттєвий вплив на довкілля, пройдуть відповідне навчання для практичного виконання екологічних та соціальних стандартів FSC.

Діяльність Шепетівського надлісництва в рамках системи FSC сертифікації базується на послідовному дотриманні десяти основоположних принципів, визначених національним стандартом для України. Ці принципи формують комплексну систему вимог, що охоплює правові, соціальні, екологічні та економічні аспекти сталого лісоуправління.

В основі цієї системи лежить Принцип 1: Дотримання законодавства, що зобов'язує підприємство функціонувати у суворій відповідності до національного законодавства та ратифікованих міжнародних угод. Наступним кроком є реалізація Принципу 2: Права працівників та умови працевлаштування, який гарантує дотримання трудових прав персоналу та створення безпечних умов праці. Далі, Принцип 3: Права тубільних народів, згідно з національним стандартом, не застосовується в Україні через відсутність таких народів. Водночас велика увага приділяється Принципу 4: Стосунки з громадами, що передбачає побудову конструктивного діалогу, врахування інтересів та сприяння розвитку місцевих спільнот. Економічна складова сталого розвитку розкривається через Принцип 5: Вигоди від лісів, який спрямований на ефективне та довгострокове використання лісових ресурсів для отримання різноманітних екологічних, соціальних та економічних переваг.

Екологічний блок вимог відкриває Принцип 6: Цінності довкілля та впливи на них, який вимагає від підприємства ідентифікувати, підтримувати та відновлювати екосистемні цінності, одночасно мінімізуючи негативні господарські впливи. Реалізація цього підходу здійснюється на основі Принципу 7: Планування господарювання, що передбачає наявність та дотримання довгострокового, документально оформленого та адаптивного плану управління. Для оцінки ефективності виконання плану та його впливу на довкілля застосовується Принцип 8: Моніторинг та оцінювання. Особливим елементом екологічної відповідальності є Принцип 9: Особливі цінності для збереження (ОЦЗ), який зобов'язує виявляти лісові території з унікальною природоохоронною чи культурною значущістю та впроваджувати для них

спеціальні режими охорони. Завершує цикл управлінських дій Принцип 10: Виконання господарських заходів, який регламентує практичну реалізацію запланованих робіт відповідно до високих стандартів екологічної безпеки та відповідальності.

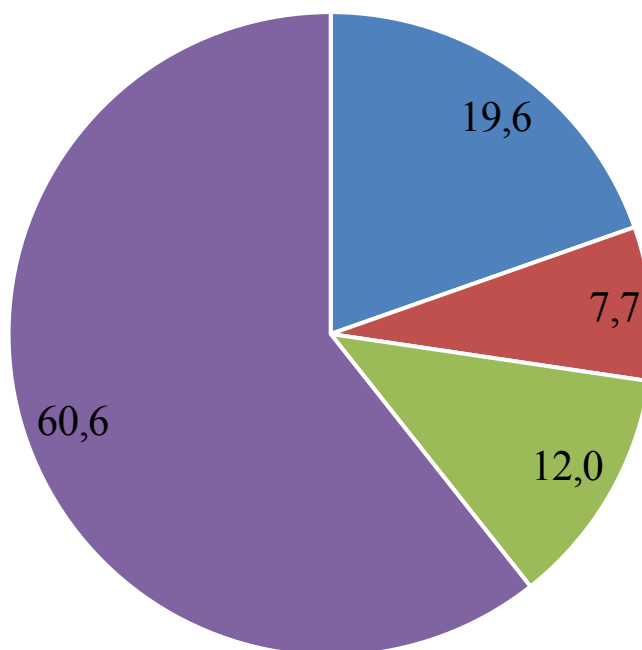
Кліматичні умови на території Шепетівського надлісництва охарактеризовані його географічним положенням у центральній частині Правобережної України та впливом Волино-Подільської височини, і класифікуються як помірно-континентальні. Важливою характеристикою регіону є сприятлива екологічна ситуація, зокрема відсутність техногенного забруднення, такого як радіонукліди чи вибухонебезпечні предмети.

Територія надлісництва володіє значним та різноманітним природно-ресурсним потенціалом. Лісові ресурси представлені типологічно різноманітними насадженнями — від чистих листяних до змішаних та хвойних. Основу деревостанів формують такі породи, як дуб звичайний, ясен, граб, сосна звичайна та ялина європейська. Окрім деревинних, значний потенціал мають недеревні ресурси, зокрема велике різноманіття грибів та ягід. Мінерально-сировинна база представлена покладами піску, глини, торфу та карбонатних порід (крейда, вапняк).

Господарська діяльність підприємства здійснюється на засадах сталого розвитку. Вплив на природні ресурси є регульованим та лімітованим щорічними обсягами використання, які встановлюються на основі матеріалів базового лісовпорядкування, що забезпечує збалансованість лісокористування.

Попри це, існують потенційні ризики для екосистем. Основним з них є значне антропогенне навантаження, зумовлене високою густотою населення та розвиненою промисловістю в регіоні. До природних загроз належать лісові пожежі, вітровали, буреломи та інші кліматичні катаклізми, здатні завдати суттєвої шкоди лісовим ресурсам.

Лісовий фонд, що перебуває у господарюванні Шепетівського надлісництва філії «Подільський лісовий офіс» ДП «Ліси України» предствілени на рис. 2.2.



- Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення
- Рекреаційно-оздоровчі ліси
- Захисні ліси
- Експлуатаційні ліси

Рис. 2.2 Розподіл лісового фонду Шепетівського надлісництва за категоріями

Згідно даної діаграми ми можемо бачити домінування економічної функції: Той факт, що понад 60% лісів віднесено до категорії експлуатаційних, чітко вказує на те, що основним напрямом господарської діяльності надлісництва є промислова заготівля деревини. Режим господарювання на цих територіях спрямований на отримання максимальної кількості якісної деревної продукції.

Значна роль екологічних та соціальних функцій: Незважаючи на перевагу експлуатаційних лісів, сумарна частка лісів з обмеженим режимом використання становить майже 40%. Це свідчить про багатоцільовий характер ведення лісового господарства.

Природоохоронні ліси (19,6%) є другою за величиною категорією, що підкреслює важливу роль надлісництва у збереженні біорізноманіття, унікальних природних комплексів та об'єктів.

Захисні ліси (12,0%) виконують важливі екосистемні послуги, захищаючи ґрунти від ерозії, регулюючи стік вод та стабілізуючи клімат вздовж доріг, річок та інших об'єктів.

Рекреаційно-оздоровчі ліси (7,7%) задовольняють соціальні потреби населення у відпочинку, що є важливим аспектом сучасного лісоуправління.

Структура лісового фонду Шепетівського надлісництва свідчить про збалансований підхід до лісокористування. Хоча промислова заготівля деревини є домінуючим напрямом, значна частина лісових масивів офіційно виділена для виконання ключових природоохоронних, захисних та соціальних функцій, що відповідає принципам сталого розвитку.

За ступенем вологості більша частина ґрунтів відноситься до свіжих та вологих. На долю лісових ділянок з надмірним зволоженням припадає 8 % площі, вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок. Болота займають площу 935,3 га.

Характеристика рік та водоймищ, розташованих на території лісгоспу, наводиться в таблиці 2.2. Територія лісгоспу розташована в басейнах р. Прип'ять. Район розташування лісгоспу дрениється порівняно малою кількістю річок, з яких найбільш значними є р. Горинь і р. Хомора.

Таблиця 2.2

Характеристика рік та водоймищ

Найменування рік та водоймищ	Куди впадає ріка	Загальна протяжність, км; площа водоймищ, га	Ширина лісових смуг вздовж берегів річок, навколо озер, водоймищ, м	
			згідно нормативів	фактична
р. Цвітоха	р. Горинь	39	150	150
р. Хомора	р. Случ	110	400	400
р. Гуска	р. Цвітоха	25	150	150
р. Смолка	р. Случ	73	300	300
р. Скрипівка	р. Хомора	26	150	150

У таблиці 2.3 наведено основні кліматичні показники Шепетівського надлісництва

Таблиця 2.3

Кліматичні показники

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення	Дата
1. Температура повітря:			
- середньорічна	градус	+6,8 ⁰ С	
- абсолютна максимальна	градус	+36 ⁰ С	
- абсолютна мінімальна	градус	-34 ⁰ С	
2. Кількість опадів на рік	мм	582	
3. Тривалість вегетаційного періоду	днів	165	
4. Пізні весняні заморозки			25.05
5. Перші осінні заморозки			20.09
6. Середня дата замерзання рік			12.12
7. Середня дата початку паводку			15.03
8. Напрямок панівних вітрів за сезонами:			
- зима	румб	ПнЗ	
- весна	румб	З-ПнЗ	
- літо	румб	З	
- осінь	румб	ПдС, З	
9. Середня швидкість панівних вітрів за сезонами:			
- зима	м/сек.	3,8	
- весна	м/сек.	3,6	
- літо	м/сек.	2,6	
- осінь	м/сек.	4,0	
10. Відносна вологість повітря за сезонами:			
- зима	%	80	
- весна	%	60	
- літо	%	59	
- осінь	%	60	

4.2. Методика досліджень

Методологія дослідження динаміки лісового покриву ґрунтується на поетапному аналізі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). В якості основного джерела інформації було використано відкриті мультиспектральні знімки супутника Sentinel-2, доступні через платформу Copernicus Browser. Процес дослідження включав збір, попередню обробку, аналіз та картографічну візуалізацію результатів для забезпечення регулярного моніторингу стану лісових територій.

Методологія дослідження передбачала послідовне виконання кількох ключових етапів, починаючи від вибору об'єкта та збору даних до їх аналізу та інтерпретації.

На першому етапі було визначено територію дослідження, що характеризується значною динамікою лісового покриву, з ручним введенням її географічних координат в інтерфейсі Copernicus Browser. Для проведення часового аналізу було обрано знімки за два референтні періоди (наприклад, літні сезони 2017 та 2024 років), що дозволило оцінити зміни в довгостроковій перспективі та нівелювати сезонні варіації.

Збір вихідних даних полягав у пошуку та завантаженні мультиспектральних знімків Sentinel-2 з мінімальною хмарністю через платформу Copernicus Browser. Подальша обробка зображень базувалася на розрахунку нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI), що є надійним індикатором щільності та стану рослинності. Обчислення та первинний аналіз проводилися як безпосередньо в онлайн-сервісі, так і з залученням спеціалізованого ГІС-програмного забезпечення.

На етапі аналізу здійснювалося кількісне (піксельний аналіз) та якісне (візуальне картографування) порівняння розрахованих індексів NDVI для виявлення ділянок змін. Завершальним етапом стала інтерпретація отриманих даних, у ході якої було зроблено висновки щодо характеру, масштабу та

просторової структури трансформацій лісового покриву на досліджуваній території. Результати були представлені у вигляді тематичних карт та графіків.

Застосована методика забезпечує високоефективний моніторинг динаміки лісових масивів шляхом аналізу відкритих супутникових даних, отриманих за допомогою сучасних інструментів дистанційного зондування Землі.

На рисунку 2.3 зображено головне меню сервісу Copernicus Browser, яке містить основні інструменти для роботи з даними.



Рис. 2.3. Вигляд головного меню Copernicus Browser

На рисунку 2.4 ілюструється інструментарій картографічного сервісу Copernicus, застосований для точного окреслення меж досліджуваної території. Процедура включала використання функцій для створення векторних полігонів та їх подальшого ручного редагування безпосередньо на супутниковому знімку. Такий підхід забезпечив необхідну гнучкість та точність для локалізації ділянки, що підлягає подальшому аналізу змін лісового покриву.



Рис. 2.4. Інструменти для побудови полігона в Copernicus Browser

Рисунок 2.4 ілюструє процес створення та фінальний вигляд полігональної області, що окреслює межі досліджуваної території в сервісі Copernicus. На зображенні стрілками виділено ключові елементи інтерфейсу, задіяні в цьому процесі: інструмент роботи з шарами (червона стрілка) для керування картографічною основою та інструмент векторизації «Олівець» (зелена стрілка). Саме за допомогою останнього було сформовано результуючий полігон, який слугує основою для подальшого аналізу динаміки лісового покриву.

Висновки до 2-го розділу

Охарактеризовано об'єкт дослідження - Шепетівське надлісництво, що розташоване на площі майже 60 тис. га у Хмельницькій області. Встановлено, що підприємство має складну організаційну структуру (20 лісництв) та веде багатоцільову діяльність, яка охоплює лісгосподарські, природоохоронні, мисливсько-господарські та соціальні функції.

Визначено, що господарська діяльність надлісництва ґрунтується на принципах сталого розвитку, що підтверджується добровільним дотриманням стандартів лісової сертифікації FSC. Аналіз структури лісового фонду показав

збалансований підхід: попри домінування експлуатаційних лісів (60,6%), значна частка (майже 40%) відведена під виконання захисних, природоохоронних та рекреаційних функцій.

Проаналізовано природно-кліматичні умови регіону, які класифіковано як помірно-континентальні та в цілому сприятливі для лісовирощування. Встановлено, що територія має значний природно-ресурсний потенціал та характеризується відсутністю техногенного забруднення. Водночас ідентифіковано основні ризики, зокрема антропогенне навантаження та природні катаклізми (пожежі, вітровали).

Обґрунтовано та деталізовано методику дослідження, яка базується на аналізі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). В якості основного інструменту для збору та первинної обробки інформації обрано платформу Copernicus Browser та мультиспектральні знімки супутника Sentinel-2, а для оцінки стану рослинності нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI).

Підтверджено, що обраний методологічний підхід є ефективним для вирішення поставлених завдань, оскільки він дозволяє проводити об'єктивний просторово-часовий аналіз динаміки лісового покриву на основі відкритих, регулярно оновлюваних даних.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА КАРТОГРАФУВАННЯ СУЦІЛЬНИХ РУБАНЬ

Лісові екосистеми є ключовими компонентами біосфери, що виконують низку незамінних екосистемних послуг, зокрема збереження біорізноманіття, регуляцію клімату та стабілізацію гідрологічних режимів. Водночас їхній стан та площа перебувають під постійним впливом природних і антропогенних факторів, зазнаючи безперервних динамічних змін. Це зумовлює нагальну потребу в систематичному моніторингу, який набуває особливої актуальності для територій з інтенсивним лісокористуванням, яскравим прикладом яких є Шепетівське надлісництво.

Даний розділ присвячено аналізу просторово-часової динаміки лісового покриву на репрезентативних ділянках Шепетівського надлісництва. Дослідження базується на застосуванні методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема на обробці мультиспектральних супутникових знімків з сервісу Copernicus Browser. Використання вегетаційних індексів, таких як NDVI, забезпечує об'єктивну кількісну оцінку змін у структурі лісових насаджень за різні референтні періоди, що дозволяє ідентифікувати тренди деградації чи природного відновлення.

Для детального аналізу було обрано репрезентативний лісовий квартал, на території якого спостерігаються типові зміни, зумовлені як природними процесами, так і антропогенним впливом (рубками головного користування).

Для проведення просторово-часового аналізу динаміки лісового покриву було визначено період з 2018 по 2024 рік. Цей часовий проміжок є репрезентативним, оскільки дозволяє оцінити як короткострокові, так і кумулятивні зміни, що відбулися внаслідок інтенсивної господарської діяльності (суцільних та вибіркового рубок) та природних процесів на території Шепетівського надлісництва. В якості вихідних даних було використано мультиспектральні знімки супутника Sentinel-2, отримані через сервіс Copernicus Browser.

Відбір зображень для референтних дат здійснювався за двома ключовими критеріями: мінімальна хмарність та належність до одного сезону. Пріоритет надавався знімкам за літній вегетаційний період (червень-серпень), оскільки максимальна вегетаційна активність рослинності в цей час забезпечує найбільш інформативні та зіставні дані. Порівняльний аналіз відібраних знімків уможливорює точну просторову локалізацію ділянок змін, ідентифікацію їхнього характеру та кількісну оцінку масштабів трансформації лісового покриву.



Рис. 3.1. Знімок від 24 серпня 2018р. (Sentinel-2, True Color)

На супутниковому знімку від 24 серпня 2018 року, отриманому сенсором Sentinel-2, представлено ділянку лісового масиву на території Шепетівського надлісництва (Хмельницька область). Зображення, подане у композиції натуральних кольорів (True Color), демонструє стан лісового покриву в період максимальної вегетаційної активності.

На зображенні домінує відносно однорідний масив, вкритий щільною лісовою рослинністю, що має насичений темно-зелений колір. Це свідчить про

високу зімкненість крон та, загалом, здоровий стан основного деревостану. Водночас на цьому фоні чітко вирізняються кілька об'єктів:

У верхній правій та нижній лівій частинах знімка присутні прямокутні ділянки світлого кольору, що, ймовірно, є вирубками, сільськогосподарськими угіддями або іншими безлісими територіями.

Уздовж лівого краю проходить пряма світла лінія, ідентифікована як лісова дорога або широка просіка.

При детальному розгляді на поверхні основного лісового масиву простежується ледь помітна текстура у вигляді паралельних діагональних ліній. Ці структури, найімовірніше, є слідами минулих лісокультурних робіт (рядова посадка дерев), які з часом майже повністю зімкнулися під лісовим наметом.

Таким чином, на момент зйомки (серпень 2018 року) основна частина досліджуваної території перебувала у стабільному стані з високою продуктивністю. Однак наявність окремих безлісих ділянок та лінійної інфраструктури свідчить про ведення господарської діяльності або наявність інших типів землекористування в межах даного лісового масиву.

Аналіз іншого знімка, зробленого 19 серпня 2019 року, наведено на рис.3.2.



Рис. 3.2. Знімок від 19 серпня 2019 року (Sentinel-2, True Color)

Порівняльний аналіз знімка від 19 серпня 2019 року з даними за попередній рік демонструє відсутність суттєвих змін у стані лісового покриву. Збереглася як загальна однорідність та щільність лісових масивів, так і конфігурація лісової дороги, що вказує на стабільність екологічної та господарської ситуації на даній ділянці протягом цього періоду.

Світлі ділянки в у правій верхній та лівій нижній частині знімка були помітні ще у 2018 році, зберегли свої розміри та форму, що вказує на стабільність стану ділянок.

Порівняльний аналіз супутникових знімків за період 2018-2019 років не виявив статистично значущих змін у стані лісового покриву на досліджуваній ділянці. Просторова структура та щільність деревостану залишалися стабільними, без фіксації ознак проведення суцільних чи вибіркового рубок, що дозволяє зробити висновок про відсутність інтенсивних лісогосподарських втручань у межах аналізованого кварталу протягом цього року.

Наступний етап дослідження охоплює період, починаючи з 2020 року, і сфокусований на виявленні та аналізі трансформацій лісового покриву. Основна мета полягає в ідентифікації змін, зумовлених як природними процесами, так і можливою активізацією лісогосподарської діяльності, зокрема проведенням рубок.

Аналіз супутникових знімків за цей часовий проміжок дозволяє зафіксувати ознаки втручання у структуру лісових масивів, а також провести кількісну та якісну оцінку масштабу та характеру цих змін у порівнянні з попередніми роками.



Рис. 3.3. Знімок від 6 серпня 2020 року (Sentinel-2, True Color)

Аналіз супутникових зображень за період 2019-2020 років фіксує перші значні трансформації лісового покриву на досліджуваній території після періоду відносної стабільності. На знімку від 6 серпня 2020 року чітко ідентифікуються новостворені безлісі ділянки, що є свідченням інтенсивних лісогосподарських втручань.

Зокрема, виділяються два основні осередки змін: ділянка площею близько 0,5-0,6 га у верхній частині зображення (ділянка номер 1) та більша ділянка площею близько 1 га у південній частині знімку (ділянка 2). Їхня правильна форма є характерною ознакою проведення суцільних санітарних або планових рубок. Поява цих ділянок, а також розширення супутньої дорожньої мережі, свідчать про початок активної фази трансформації лісового покриву, що розпочалася у 2020 році.

Також потрібно звернути увагу на ділянку 2, оскільки до 2020 року на цій ділянці було видно що ділянка була пустою, а на даному знімку ми можемо бачити що вона набула світло зеленого забарвлення, що може свідчити про те що на даному виділі було проведено лісовідновлення (наприклад посадкою лісових кільтур).

Дані супутникового моніторингу за 2020 рік свідчать про порушення попередньої стабільності лісового покриву на досліджуваній ділянці. Вперше за трирічний період спостережень було зафіксовано виникнення нових вирубаних територій, та ділянку на якій було проведено лісовідновлення, що є однозначним індикатором початку інтенсивної лісогосподарської діяльності в межах аналізованого кварталу.

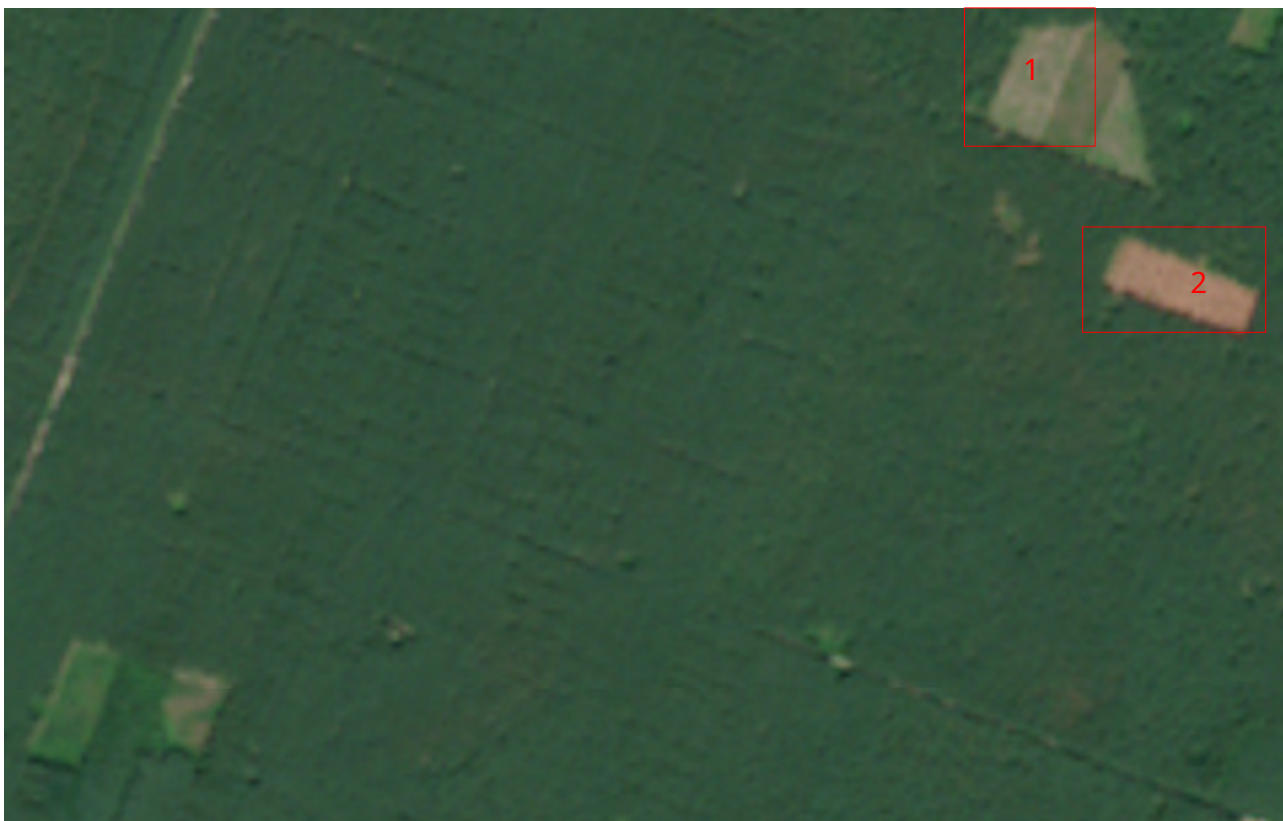


Рис. 3.4. Знімок від 8 серпня 2021 року (Sentinel-2, True Color)

Аналіз супутникових даних за 2021 рік свідчить про подальшу інтенсифікацію трансформації лісового покриву на досліджуваній території. Порівняно з 2020 роком, зафіксовано як розширення раніше існуючих лісосік, так і появу нових. Найбільш значущою зміною є виникнення великої ділянки суцільної рубки площею близько 2 га у північно-східній частині (ділянка 2), чіткі геометричні межі якої вказують на її плановий характер. Окрім цього, відмічено розширення вирубаної території у північній частині знімка (ділянка 1). Сукупність цих спостережень однозначно вказує на суттєве прискорення

темпів лісгосподарської діяльності в межах аналізованого кварталу протягом 2021 року.



Рис. 3.5. Знімок від 26 серпня 2022 року (Sentinel-2, True Color)

Протягом 2022 року на досліджуваній території спостерігалось суттєве зниження інтенсивності лісгосподарських втручань порівняно з піковим 2021 роком. Хоча на супутникових знімках чітко простежувалися наслідки попередніх рубок, нові масштабні вирубки не фіксувалися, що може свідчити про тимчасове зміщення акценту з лісозаготівлі на відновлювальні заходи.

Аналіз даних за 2022 рік демонструє складну та неоднозначну динаміку. З одного боку, на старих вирубаних ділянках (ділянка 1) зафіксовано позитивні процеси — появу життєздатного природного поновлення. З іншого боку, в цей же період було проведено нову суцільну рубку площею близько 1 га на ділянці 1 та ділянці 2. Це свідчить про те, що, попри початок відновлення на старих лісосіках, лісгосподарський тиск на інші частини кварталу не припинився.



Рис. 3.6. Знімок від 16 серпня 2023 року (Sentinel-2, True Color)

У 2023 році не спостерігається зростання масштабів вирубки лісу. Якщо порівнювати з попередніми роками, то в 2021 відбулись наймасштабніші зміни на досліджуваній території.

На досліджуваній території відбулося різке зростання активності лісовідновлення, що проявляється у появі нових світло-зелених кольорів на зображенні. Це вказує на підвищення інтенсивності лісовідновлення після значних рубок у 2021-2022 років.

Аналіз даних за 2023 рік демонструє досить високу динаміку щодо лісовідновлення. На старих вирубаних ділянках (1-6) зафіксовано позитивні процеси — появу життєздатного природного поновлення. Це свідчить про те, що початок відновлення на старих лісосіках значно виріс, а лісогосподарський тиск на інші частини кварталу повністю припинився.



Рис. 3.7. Знімок від 15 серпня 2024 року (Sentinel-2, True Color)

У 2024 році на території дослідження суттєвих вирубок не зафіксовано: Раніше вирубані ділянки, зокрема великі світлі площі з минулих років, залишаються помітними, але видно хороше природне 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 природне або штучне відновлення.

У 2024 році активна вирубка не здійснювалась. Відзначається стабілізація ситуації, нові рубки не з'являються, а старі поступово починають відновлюватись.

Аналіз динаміки лісового покриву за період з 2018 по 2024 рік виявляє стійку тенденцію до його зменшення, що характеризується фазами різної інтенсивності. Перші значні лісогосподарські втручання були зафіксовані у

2020 році. Наступний період (2021-2022 рр.) відзначився відносно збільшеними темпами рубок, однак з 2023 року розпочалася фаза різкого завершення лісозаготівлі. Пікові значення активності припали на 2021 та 2022 роки, коли з'явилися нові великі суцільні рубки, переважно у північній частині території. Натомість 2023 та 2024 роки характеризувався тимчасовою стабілізацією, без фіксації нових значних вирубок. Загалом, за досліджуваний період територія зазнала суттєвої трансформації та фрагментації внаслідок домінуючого впливу антропогенного чинника — планової лісозаготівельної діяльності.

Висновки до 3-го розділу

Встановлено, що застосування методів дистанційного зондування Землі на основі аналізу мультиспектральних знімків Sentinel-2 є ефективним інструментом для моніторингу динаміки лісового покриву. Аналіз підтвердив, що на початок досліджуваного періоду (2018-2019 рр.) лісовий масив у межах репрезентативного кварталу перебував у стабільному, відносно непорушеному стані.

Виявлено, що у період з 2020 по 2022 рік на досліджуваній території відбулася фаза інтенсивних лісогосподарських втручань. Це проявилось у виникненні та розширенні кількох ділянок суцільних рубок, що призвело до суттєвої трансформації та фрагментації лісового покриву, з піком активності лісозаготівлі у 2021 році.

Зафіксовано ключовий переломний момент у динаміці екосистеми, що розпочався у 2022 році та став домінуючим у 2023-2024 роках. Він полягає у припиненні масштабних рубок та активізації процесів природного лісовідновлення на раніше вирубаних ділянках, що візуально підтверджується появою та розвитком вторинної рослинності.

Таким чином, за досліджуваний семирічний період (2018-2024 рр.) на території кварталу простежується повний цикл господарського впливу: від стабільного стану до фази інтенсивної експлуатації (2020-2022 рр.) і

подальшого переходу до етапу природного відновлення (2023-2024 рр.). Це демонструє високу динамічність ландшафту та циклічний характер лісогосподарської діяльності.

У цьому розділі розглянуто зміни лісового покриву на вибраних ділянках Шепетівського надлісництва за допомогою супутникових знімків, отриманих через сервіс Copernicus Browser. Застосування дистанційного зондування Землі дозволяє досить ефективно виявити просторові та кількісні зміни в структурі лісів підприємства. Аналіз проводиться для різних періодів часу з метою виявлення тенденцій зменшення або відновлення лісового покриву.

У процесі дослідження було обрано окремий квартал, що демонструє характерні приклади змін, спричинених господарською діяльністю. Для більш детальної демонстрації змін лісового покриву було обрано проміжок часу з 2018 по 2024 роки. Такий період дає змогу простежити як короткострокові, так і довгострокові зміни у структурі лісів. Саме в цей відрізок часу на території надлісництва спостерігались як активні лісогосподарські заходи, так і природні процеси, пов'язані з відновленням 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 сформульовано наступні рекомендації для впровадження у виробничу практику лісогосподарських підприємств:

Впровадити системний моніторинг стану лісових насаджень на основі сучасних геоінформаційних платформ (зокрема, Copernicus). Це забезпечить оперативну ідентифікацію ділянок деградації та відновлення, створюючи основу для прийняття своєчасних та обґрунтованих управлінських рішень.

Створити інтегровані бази даних, що поєднують інформацію, отриману методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), із традиційними таксаційними матеріалами. Така синергія даних дозволить суттєво підвищити точність планування лісогосподарських заходів та оцінки їх ефективності.

Зробити результати супутникового моніторингу невід'ємною інформаційною основою для ключових виробничих процесів, зокрема для планування рубок, об'єктивної оцінки успішності лісовідновлення та підготовки екологічної звітності.

Визначити пріоритетним напрямом підвищення кваліфікації персоналу. Організувати регулярне навчання спеціалістів лісового господарства у сфері застосування геоінформаційних систем (ГІС) та методів ДЗЗ для компетентного використання сучасного інструментарію в повсякденній діяльності.

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. С. 85–86. URL: http://eprints.zu.edu.ua/34251/1/Костюк_Гайдаржи_тези.pdf (дата звернення: 21.03.2025)
3. Мазепа В. Г. Порядок і черговість проведення санітарно-оздоровчих заходів Лісозахист: електрон. посіб. Луцьк: ЛНТУ, URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%BB_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%9C%D0%90%D0%B7%D0%B5%D0%BF%D0%B0%2028.05.2022/page12.html (дата звернення: 20.01.2025).
4. 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.
5. Проект організації та розвитку лісового господарства Шепетівського надлісництва філії «Подільський лісовий офіс» ДП «Ліси України». ВО «Укрдержліспроєкт». Ірпінь, 2021. 223 с.
6. Проект Правил рубок і пов'язаних із ними лісівничих заходів. Державне агентство лісових ресурсів України. URL: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/proekt/21.03.23/Проект%20Правил%20рубок%2021.03.2023.pdf> (дата звернення: 15.04.2025).

7. Супутникові дані для екології: як їх використовують? Kunsht. URL: <https://www.kunsht.com.ua/articles/11955-2> (дата звернення: 23.05.2025).

8. Токар О., Король М., Гаврилюк 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> (дата звернення: 23.03.2025)

9. 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.

10. 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.

11. A new space age for forests, but groundwork still matters. European Space Agency. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Biomass/A_new_space_age_for_forests_but_groundwork_still_matters (дата звернення: 30.01.2025).

12. Access to Data Copernicus. URL: <https://www.copernicus.eu/en/access-data> (дата звернення: 03.04.2025).

13. Bellprat A., Guemas V., Doblas-Reyes F. et al. The Copernicus Climate Change Service: a European service for climate monitoring, forecasting, and adaptation. *Biogeosciences*. 2025. Vol. 22, Iss. 6. URL: <https://bg.copernicus.org/articles/22/1277/2025/> (дата звернення: 22.05.2025).

14. Chowdhury E. H., Hassan Q. K., Gupta A. A Novel Approach for Forest Fire Detection and Mapping Using Sentinel-2 and VIIRS Data Remote Sensing. 2022. Vol. 14, Iss. 21. URL: <https://www.researchgate.net/figure/NDVI-NDMI-EVI->

and-NBR-time-series-profiles-using-pixel-level-analysis-of-the_fig6_365469873

(дата звернення: 02.02.2025).

15. Copernicus Browser. Copernicus Data Space Ecosystem. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu> (дата звернення: 19.02.2025).

16. Copernicus Global Land Service. VITO Remote Sensing. URL: <https://remotesensing.vito.be/services/copernicus-global-land-services> (дата звернення: 16.05.2025).

17. Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). Copernicus Data Space Ecosystem. URL: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/ComplementaryData/CLMS.html> (дата звернення: 07.04.2025).

18. Copernicus Land Monitoring Service. European Union. URL: <https://land.copernicus.eu/en> (дата звернення: 13.03.2025).

19. Copernicus: Sentinel-2. EO-Portal. URL: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-2> (дата звернення: 24.01.2025).

20. Deep Green Ukraine: як супутникові знімки допомагають боротися з вирубкою лісів. Visicom. URL: <https://api.visicom.ua/uk/posts/deepgreenukraineproject> (дата звернення: 14.04.2025).

21. Forestry Report 2022. Ecotree. URL: https://img.ecotree.green/documents/annual-report/en_2022_forestry_report.pdf (дата звернення: 11.02.2025).

22. Gazol A., García-Plaza A., Camarero J. J. et al. Combining satellite remote sensing and process-based models for forest change detection and attribution. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2022. Vol. 5. URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10158041/1/ffgc-05-1018762.pdf> (дата звернення: 09.05.2025).

23. Grabska E., Weżyk P., Brach M. et al. A Method for Mapping Forest Species Composition and Richness Based on Sentinel-2 Data and Machine Learning

Algorithms. Remote Sensing. 2024. Vol. 16, Iss. 1. P. 5. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/1/5> (дата звернення: 14.01.2025).

24. Grabska E., Weżyk P., Zieliński A. Forest Stand Species Composition Mapping Using Sentinel-2 Imagery and Machine Learning in a Temperate Mixed Forest. Remote Sensing. 2024. Vol. 16, Iss. 3. P. 591. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/3/591> (дата звернення: 25.03.2025).

25. Immitzer M., Atzberger C., Koukal T. Forest Change Detection Using Sentinel-2 Data: A Comparison of Methods. Remote Sensing. 2025. Vol. 17, Iss. 4. P. 680. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/4/680> (дата звернення: 27.02.2025).

26. Kim H., Kim S., Lee W. et al. Detection and Analysis of Forest Clear-Cutting Activities Using Sentinel-2 and Random Forest Classification: A Case Study on Chungcheongnam-do, Republic of Korea. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16. URL: https://www.researchgate.net/publication/378539753_Detection_and_Analysis_of_Forest_Clear-Cutting_Activities_Using_Sentinel-2_and_Random_Forest_Classification_A_Case_Study_on_Chungcheongnam-do_Republic_of_Korea (дата звернення: 18.04.2025).

27. Rossi L., D'Amico G., Leronni V. et al. Monitoring of forest ecosystems using remote sensing and field surveys. Scientific Reports. 2020. Vol. 10. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7288459/> (дата звернення: 06.02.2025).

28. S1-Mission. Copernicus Sentinels. URL: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission> (дата звернення: 12.02.2025).

29. San-Miguel-Ayanz J., Durrant T., Chuviesco E. et al. Forest fire detection and monitoring in Europe using satellite data. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2025. Vol. 25, Iss. 1. URL: <https://nhess.copernicus.org/articles/25/77/2025/> (дата звернення: 29.04.2025).

30. Sentinel-1. NASA Earthdata. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/data/platforms/space-based-platforms/sentinel-1> (дата звернення: 10.05.2025).

31. Sentinel-2. Copernicus Data Space Ecosystem. URL: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2> (дата звернення: 28.03.2025).

32. Silva S. L. D. C. D., Baloloy A. B., Tagnip-Dutra F. P. et al. Mapping Forest Canopy Height Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Data with Machine Learning. Remote Sensing. 2025. Vol. 17, Iss. 6. P. 979. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/6/979> (дата звернення: 17.03.2025).

33. Ten years of Copernicus at ECMWF. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. URL: <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/81652-ten-years-of-copernicus-at-ecmwf.pdf> (дата звернення: 21.03.2025).

34. Ukraine Forest Sector Development Policy Note The World Bank Group. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099021525081020083/pdf/P177450-841c376c-a926-420f-a2e3-7ca840ffcaf0.pdf> (дата звернення: 05.03.2025).