

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ННІ ЛІСОВОГО І САДОВО – ПАРКОВОГО ГОСПОДАРСТВА

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ
лісового і садово–паркового
господарства
_____ Роман ВАСИЛИШИН
« ____ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Т.в.о. завідувача кафедри таксації
лісу та лісового менеджменту
_____ Віктор МИРОНЮК
« ____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Вплив обсягів всихання ялинових насаджень Вигодського
надлісництва філії «Карпатський лісовий офіс» ДП «Ліси України» на
виконання ними вуглецедепонувальної функції»**

Спеціальність _____ 205 – Лісове господарство

Освітня програма _____ «Лісове господарство»

Орієнтація освітньої програми _____ Освітньо – професійна

Гарант освітньої програми

к. с.–г. наук, доц.

_____ Олександр БАЛА

Керівник магістерської

кваліфікаційної роботи

д – р с. – г. наук, проф.

_____ Роман ВАСИЛИШИН

Виконала

_____ Микола САВЧУК

Київ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Навчально – науковий інститут лісового і садово – паркового господарства

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри таксації
лісу та лісового менеджменту

д.с.–г.н., проф. _____ Віктор МИРОНЮК

“_17_” __12__ 2024 року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Савчуку Миколі Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 205 – Лісове господарство

Освітня програма «Лісове господарство»

Орієнтація освітньої програми Освітньо – професійна

1. Тема магістерської роботи: Вплив обсягів всихання ялинових насаджень Вигодського надлісництва філії «Карпатський лісовий офіс» ДП «Ліси України» на виконання ними вуглецедепонувальної функції, затверджена наказом ректора НУБіП України від «20» листопада 2024 року № 2074 «С»

2. Термін подання завершеної роботи на кафедрі 15 листопада 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: таксаційна характеристика насаджень Вигодського надлісництва філії «Карпатський лісовий офіс» ДП «Ліси України», господарські звіти та виробничі матеріали, що відображають інформацію про сортиментну структуру та обсяги заготівлі деревної біомаси, польові дослідні дані та наукова література за тематикою дослідження.

4. Перелік питань, що підлягають дослідженню:

4.1. Огляд літературних джерел щодо дослідження вуглецедепонувальної функції лісів.

4.2. Методика дослідження та коротка характеристика Вигодського надлісництва.

4.3. Кількісна оцінка втрати вуглецедепонувальної здатності ялинових насаджень Вигодського надлісництва. Висновки і пропозиції.

Дата видачі завдання: 20 листопада 2024 року

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

Роман ВАСИЛИШИН

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Микола САВЧУК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота містить наступні структурні складові: вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 76 сторінки. Робота вміщує 32 таблиць і 4 рисунки. Список джерел містить 50 найменувань, з них – 8 латиницею.

Перший розділ магістерської роботи висвітлює наукові дослідження та теоретичні засади ролі лісів у вуглецевому циклі й їх здатності до депонування вуглецю. Особливу увагу приділено ялиновим лісам Українських Карпат як важливому чиннику регіонального кліматорегулювання. Розглянуто сучасні підходи до оцінки вуглецедепонувальної функції та вплив кліматичних і біотичних факторів на стійкість ялини. Узагальнено результати досліджень щодо екологічних наслідків деградації хвойних лісів і зниження їхнього вуглецевого потенціалу.

Другий розділ магістерської роботи обґрунтовує вибір об'єкта дослідження та подає методичні підходи до оцінки вуглецедепонувальної функції лісів. Наведено характеристику природних і кліматичних умов Вигодського надлісництва. Описано методи збору, узагальнення та аналізу таксаційних даних, що застосовуються для визначення втрат вуглецю внаслідок деградації ялинових насаджень.

Третій розділ магістерської роботи присвячено аналізу лісівничо-таксаційних показників ялинових насаджень Вигодського надлісництва та оцінці змін їхнього вуглецедепонувального потенціалу під впливом всихання. Розглянуто структуру, віковий і бонітетний склад деревостанів, площі деградації та обсяги втрат запасів вуглецю. Наведено кількісні результати розрахунків, що відображають зниження здатності ялиників до акумулювання вуглецю.

Ключові слова: всихання ялиників, вуглецедепонувальна функція, Вигодське надлісництво, вуглицевий баланс, сталий розвиток.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕДЕПОНУВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ЛІСІВ	7
1.1. Роль вуглецю в природі	7
1.2. Ялина європейська в Українських Карпатах.....	10
1.3. Загальні тенденції досліджень екосистемних функції лісів	19
Висновки по розділу 1	21
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИГОДСЬКОГО НАДЛІСНИЦТВА.....	23
2.1. Обґрунтування вибору об’єкту дослідження	23
2.2. Характеристика базових методів дослідження	24
2.3. Характеристика організаційної структури та лісового фонду Вигодського надлісництва	25
Висновки по розділу 2	34
РОЗДІЛ 3 КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ВТРАТИ ВУГЛЕЦЕДЕПОНУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЯЛИНОВИХ НАСАДЖЕНЬ ВИГОДСЬКОГО НАДЛІСНИЦТВА	35
3.1. Лісівничо – таксаційна характеристика ялинових деревостанів досліджуваного надлісництва.....	35
3.2. Оцінювання обсягів всихання ялинових насаджень у Вигодському надлісництві	50
3.3 Кількісна оцінка негативного регіонального впливу всихання ялинових насаджень на їхню вуглецедепонувальну здатність.....	58
Висновки по розділу 3	68
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

Ліси є одним із найважливіших компонентів біосфери, що забезпечують підтримання кліматичної рівноваги, збереження біорізноманіття, регулювання водного режиму та депонування вуглецю. У сучасних умовах глобальних кліматичних змін питання оцінювання ролі лісових екосистем у регулюванні вуглецевого балансу набуває особливого значення. Вуглецедепонувальна функція лісів розглядається не лише як екологічний, але й як економічний чинник, оскільки вона безпосередньо пов'язана з міжнародними зобов'язаннями України щодо скорочення викидів парникових газів і виконання кліматичних цілей, визначених Паризькою угодою [31].

Значну увагу проблемам вуглецевого балансу лісових ландшафтів приділяли О. Г. Часковський та співавтори [40], тоді як У. М. Альошкіна з колегами [1] досліджували акумуляція вуглецю лісовими екосистемами. Вагомими є й напрацювання Н. М. Лось [23], науковиць висвітлив свою думку про запобігання змін клімату. У контексті українського лісознавства слід відзначити С. Генсірук [6], чия монографія стала базовою працею з вивчення структури та функціонування національних лісових екосистем, а також В. В. Бокоч [2], яка досліджувала питання біопродуктивності лісів Карпатського НПП.

На сучасному етапі розвитку лісового господарства особливого значення набуває поєднання традиційних лісівничих методів з інноваційними технологіями моніторингу, зокрема дистанційним зондуванням Землі та системами точного лісівництва. Такі підходи дозволяють ефективніше оцінювати масштаби всихання ялинових насаджень і його вплив на вуглецедепонувальну здатність лісових екосистем. У цьому контексті деревна біомаса розглядається не лише як ключовий елемент вуглецевого балансу, але й як важливий чинник кліматорегулювання, що сприяє стабілізації вмісту парникових газів в атмосфері та підтриманню екологічної рівноваги лісових екосистем.

Метою дослідження є кількісна оцінка впливу всихання ялинових насаджень на показники вуглецедепонувальної функції лісів Вигодського надлісництва.

Об'єктом дослідження є ялинові деревостани Вигодського надлісництва.

Предметом дослідження є вуглецедепонувальна функція ялинових насаджень надлісництва та її зміни під впливом процесів всихання деревостанів.

Методика дослідження ґрунтується на кількісній оцінці змін вуглецедепонувальної здатності ялинових насаджень.

Методи дослідження. У дослідженні застосовано загальнонаукові методи (аналіз, синтез, узагальнення) та спеціалізовані лісотаксаційні підходи для кількісної оцінки впливу всихання ялинових насаджень на їхню вуглецедепонувальну здатність

Інформаційною базою дослідження становили матеріали бази даних «Укрдержліспроєкт» («Повидільна таксаційна характеристика лісу»), таксаційні та звітні документи Вигодського надлісництва а також наукові та аналітичні публікації, що висвітлюють проблематику всихання ялинових насаджень і їхньої вуглецедепонувальної функції.

Практичне значення одержаних результатів. Полягає у створенні науково обґрунтованої інформаційної бази для оцінювання впливу всихання ялинових насаджень на вуглецедепонувальну функцію лісів та розроблення рекомендацій щодо підвищення їх стійкості й відновлення вуглецевого потенціалу у межах надлісництва.

Магістерська кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи, висновки з пропозиціями та список використаних джерел. Загальний обсяг становить 76 сторінок, у тому числі 32 таблиць і 4 рисунки. Список літератури налічує 50 позицій, серед яких 8 джерел іноземною мовою.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕДЕПОНУВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ЛІСІВ

1.1. Роль вуглецю в природі

Вуглець є одним із ключових елементів біосфери, і підтримання його балансу в навколишньому середовищі має фундаментальне значення для стабільності кліматичної системи. Лісові екосистеми відіграють провідну роль у поглинанні та акумуляції вуглецю, а тому їхній стан безпосередньо впливає на глобальний вуглецевий цикл.

Дослідний Й. Опейда [29] визначає, що вуглець (рис. 1.1) (C) є хімічним елементом із номером 6, що належить до неметалів. Його атомна маса становить 12,011, а електронегативність – 2,6. За надвисоких температур вуглець демонструє високу термостійкість: температура плавлення досягає приблизно 3550 °C, а температура кипіння – близько 4800 °C. Густина графіту, однієї з алотропічних форм вуглецю, становить 2,25 г·(см³)⁻¹. Відомо понад 100 мінералів, до складу яких входить вуглець, а також величезна кількість органічних сполук, зокрема вуглеводнів і їхніх похідних. Діоксид вуглецю (CO₂), який є кінцевим продуктом окиснення вуглецю, – безбарвний газ із характерним кислуватим запахом і смаком. Він не підтримує горіння та дихання, а при концентрації у повітрі понад 3–4 % може спричиняти негативні фізіологічні ефекти: подразнення органів дихання, головний біль, запаморочення, шум у вухах, збудження нервової системи і навіть втрату свідомості. Таким чином, розуміння фізико – хімічних властивостей вуглецю є основою для подальшого аналізу його поведінки в екосистемах.

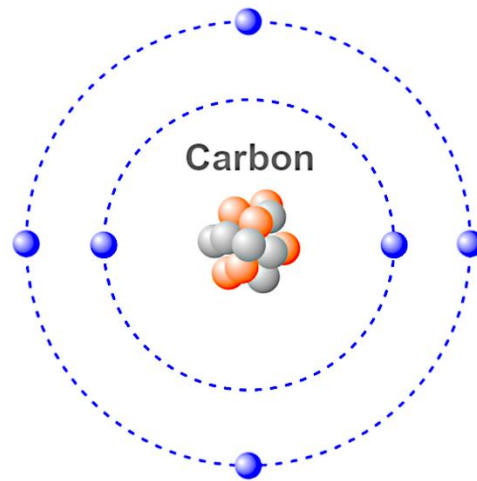


Рис. 1.1. Ілюстрація атома вуглецю [16]

Дослідник Д. І. Товстуха [37] зазначає, що вуглець у природному середовищі трапляється як у вільному вигляді, так і в складі різноманітних сполук, зокрема у формі солей вугільної кислоти, до яких належать такі гірські породи, як крейда, вапняк та мармур. Значні запаси вуглецю зосереджені також у викопному паливі – кам'яному і бурому вугіллі, а також у торфі. Цей елемент є складовою частиною нафти, природного газу, атмосферного повітря, рослинної маси, а також тканин організмів людини й тварин [38]. На відміну від таких елементів, як кисень і азот, вуглець за звичайних умов не формує простих молекул (за винятком каркасних структур), а існує переважно у вигляді атомних кристалічних ґраток, що зумовлено його чотиривалентною природою. Різні способи реалізації чотирьох ковалентних зв'язків атомом вуглецю спричиняють існування кількох алотропних форм з відмінними фізичними характеристиками, що зумовлено відмінностями в просторовому розташуванні атомів у кожній з модифікацій [33]. Ця універсальність пояснює виняткову роль вуглецю на Землі.

У науковій роботі [24] зазначено, що основним ключовим елементом життя є вуглець. Значна частинна відомих хімічних сполук є органічними, тобто містять у своєму складі вуглець і активно беруть участь у різноманітних реакціях як органічної так і не органічної природи. Однією з характерних особливостей вуглецевого циклу є постійне повернення та трансформація

вуглецю в природних процесах. Такий підхід допомагає утримувати рівень вуглецю в атмосфері на стабільному рівні у світовому масштабі.

На думку R. K. Dixon [50], ісові екосистеми відіграють ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги та стабільності навколишнього природного середовища. Вони беруть активну участь у процесах кругообігу речовин, накопиченні енергії, а також у формуванні і збереженні основних фізичних параметрів довкілля, особливо за умов впливу зовнішніх, зокрема кліматичних, чинників. Серед численних екологічних функцій лісів особливої уваги заслуговує їх здатність накопичувати органічну речовину та слугувати ефективними сховищами вуглецю. Лісові фітоценози є важливою складовою глобального кругообігу вуглецю, зберігаючи понад 10^{15} тон цього елемента в рослинній біомасі, детриті та ґрунтовому покриві. Як пише І. Г. Вишенська [5], рослинність планети щороку засвоює приблизно 175 млн тон вуглекислого газу. У процесі фотосинтезу сонячна енергія трансформується в енергію хімічних зв'язків, яка слугує основою для формування органічних сполук. За один вегетаційний період чистий приріст органічної речовини в результаті фотосинтезу становить у середньому $7,7\text{--}21,8 \text{ т}\cdot(\text{га})^{-1}$, при цьому 25–45 % синтезованих продуктів акумулюється у вигляді деревини. Як бачимо, поняття вуглецю та функціонування лісів тісно переплітаються. Тому логічним є перехід від загальної характеристики вуглецю до розгляду його ролі у формуванні кліматичної політики та міжнародних зобов'язань.

Дослідники У. М. Котляревська та А. М. Білоус [17] зазначають, що ліси відіграють важливу роль у зниженні концентрації парникових газів в атмосфері, що визнано на міжнародному рівні як критичний чинник стабілізації клімату. У 2015 році було ухвалено Паризьку кліматичну угоду, яка замінила Кіотський протокол. Уже в 2016 році Європейський Союз, Україна та понад 70 інших держав ратифікували цю угоду, взявши на себе зобов'язання спільно рухатися до досягнення нульового рівня чистих викидів парникових газів. Основною метою Паризької угоди є встановлення рівноваги між обсягами викидів і здатністю

природних систем, зокрема лісів, поглинати ці гази, що має забезпечити кліматичну нейтральність до кінця XXI століття.

Як зазначає А. О. Тараненко та інші дослідники [35], сучасні дослідження також підкреслюють, що глобальні кліматичні зміни є однією з найгостріших проблем людства. Антропогенний вплив, пов'язаний із надмірним використанням природних ресурсів та інтенсивним землеробством, спричиняє часті кліматичні й погодні аномалії у різних регіонах світу. Наголошується, що швидке скорочення викидів парникових газів може стабілізувати температуру протягом найближчих десятиліть. Вчені наголошують на важливості вуглецевого землеробства, оскільки різні види господарської діяльності формують значну частку глобальних викидів, яка становить близько чверті їх загального обсягу. Йдеться про застосування практик, які сприяють утриманню органічного вуглецю в ґрунтах, покращенню їхньої якості та зменшенню негативного балансу між вуглецем і азотом. За оцінками, впровадження таких підходів може знизити щорічні викиди парникових газів на рівні до 12 % від загального обсягу, що свідчить про їхній вагомий потенціал у боротьбі зі змінами клімату.

Станом на 1 січня 2011 року, згідно з офіційними даними державного обліку, площа земель лісового фонду в Україні сягала 10,8 млн гектарів. Із них ділянки, вкриті лісовою рослинністю, включно з усіма типами захисних лісонасаджень, займали 9,75 млн гектарів. Це становить близько 15,9 % загальної площі країни або 16,5 % території суходолу. Варто зазначити, що середній показник лісової площі на одну особу в Україні у 14 разів нижчий порівняно з аналогічними показниками держав Східної Європи [41].

1.2. Ялина європейська в Українських Карпатах

Як вказують G. Caudullo та ін. [44], ялинові ліси є типовими для бореальної зони Північної та Північно-Східної Європи. У Центральній Європі вони

займають значні площі в гірських і субальпійських районах, переважно у вигляді штучно створених насаджень, тоді як у низовинних місцевостях ялина європейська (*Picea abies* (L.) H. Karst.) частіше трапляється у змішаних лісах. Природне поширення виду має чітко виражені континентальні риси, однак завдяки високій кліматичній пластичності ялина звичайна може рости навіть в умовах суворого океанічного клімату. Вид належить до вторинних колонізаторів, але здатний виступати і як піонерна, і як кульмінаційна деревна порода. Висока продуктивність і добрі якісні властивості деревини відзначаються у найрізноманітніших умовах середовища, що стало причиною її активного використання у лісівництві, як у низовинах, так і в горах. Ялина відзначається тіньовитривалістю, здатна зберігати життєздатність під наметом старших дерев упродовж десятиліть, а після 5–10 років інтенсивно прискорює ріст. Водночас вона погано переносить вплив солоних вітрів у прибережних районах, страждає від літніх посух і надмірного зволоження. Хоча вид може зростати на різних типах ґрунтів, найбільш поширений він на кислих субстратах, віддаючи перевагу глибоким і поживним ґрунтам із достатнім рівнем вологи. Важливою екологічною властивістю є здатність ялини підкислювати ґрунтове середовище.

У бореальних лісах ялина часто утворює змішані насадження з березою (*Betula pubescens* Ehrh.), осикою (*Populus tremula* L.) та вербами (*Salix* L.) поблизу водойм. В Альпійському регіоні на високогір'ях (1800–2100 м) вона поєднується з модриною європейською (*Larix decidua* Mill.) і сосною кедровою європейською (*Pinus cembra* L.), на середніх висотах (800–1800 м) – з ялицею білою (*Abies alba* Mill.) та буком європейським (*Fagus sylvatica* L.), тоді як у посушливіших умовах трапляється разом із сосною звичайною (*Pinus sylvestris* L.) [45].

Умови поширення і відтворення ялини визначаються багатьма екологічними факторами, серед яких вирішальним є клімат, особливо температурних режимів, які відіграють ключову роль у північних широтах. Насіння поширюється головним чином завдяки вітру, але також беруть участь птахи й інші тварини. Важливе значення для життєздатності ялинових лісів

мають мікоризні взаємозв'язки з грибами, кількість видів яких налічує сотні, що забезпечує стабільність лісових екосистем навіть у стресових умовах зростання [48].

Науковець Ю. М. Дебринюк [10, 13] зазначає, що висаджування монокультур інтродукованих деревних порід у невласливих для них лісорослинних умовах часто дозволяє досягти вищої продуктивності та отримати більші обсяги деревини за коротший період, ніж при вирощуванні автохтонних лісових насаджень. Європейська ялина розглядається як перспективна деревна порода, що може бути доцільно використана в процесі породного оновлення під час ведення лісового господарства з коротким оборотом рубки [13]. З метою створення продуктивних і стійких ялинових насаджень із насіння місцевого походження, яке часто не поступається, а подекуди й перевершує за продуктивністю інші джерела, у 1982 році в межах України було запроваджено поділ на три основні лісонасінневі райони для ялини європейської. До їх складу увійшли: Карпатський район, який включає Високогірний і Низькогірний підрайони; Південнополіський – з Рівненсько – Житомирським і Київсько – Чернігівським підрайонами; а також Український лісостеповий район [7]. За даними Ю. М. Дебринюка [12]: у позаареальних регіонах зафіксовано чимало випадків формування високопродуктивних насаджень ялини європейської. За сприятливих умов вона демонструє інтенсивний ріст і здатна в короткі строки формувати значні об'єми деревини, що свідчить про її високу продуктивність.

Розповсюдження ялинових насаджень на території України має виражену регіональну нерівномірність. Переважна їх частка, близько 88 % (понад 600 тис. га), зосереджена в межах Карпатського регіону. Значно менші площі ялинників трапляються у Правобережному Лісостепу (близько 7,5 %, або 51,8 тис. га) та на Поліссі (4,4 %, або майже 31 тис. га). В інших природних зонах України вони поширені поодинокими ділянками. За походженням ялинники Карпат поділяються майже порівну на природні та штучні: частка перших становить близько 49,6 % (288,8 тис. га), а других – 50,4 % (319,1 тис. га). Обидві категорії характеризуються високим рівнем продуктивності, що підтверджується класами

бонітету (I,4 – для природних та I^a,7 – для штучних насаджень) і запасом деревини на гектар (351 м³·га⁻¹ та 306 м³·га⁻¹ відповідно). Водночас існують відмінності у структурних показниках: середній вік природних деревостанів сягає 86 років при відносній повноті 0,6, тоді як у штучних насадженнях ці значення становлять 46 років і 0,8 відповідно. Ялина трапляється майже в усіх типах лісорослинних умов, за винятком дуже сухих. Основна частка цих насаджень (76,1 %, або близько 527,2 тис. га) приурочена до сугрудів, тоді як у грудях зосереджено 18,8 % (130,3 тис. га). У таких деревостанах переважають високі показники продуктивності, що відповідають класам бонітету I,1 та I^a,6. Значно менші площі ялинових лісів трапляються в суборових умовах (5 %, або 34,3 тис. га) та борах (0,1 %, або 0,8 тис. га), де вони формують малопродуктивні деревостани з середнім рівнем бонітету II,6 та IV,2 [36].

Як вказує О. О. Середюк [34], європейська ялина належить до тіншовитривалих і морозостійких видів, однак погано переносить забруднення повітря димовими, пиловими та газоподібними домішками, а також нестачу вологи. Цей вид потребує родючих ґрунтів із помірним рівнем зволоження і проявляє високу чутливість, як до повітряної, так і ґрунтової посухи. Особливо шкодять молодим деревам ранні весняні приморозки. Найкращого розвитку ялина досягає на вологих, добре забезпечених поживними речовинами ділянках. Натомість, при надлишковому або недостатньому зволоженні її ріст сповільнюється, а іноді спостерігається навіть відмирання насаджень. Сприятливими умовами для росту є постійна циркуляція зволжених вод, збагачених поживними речовинами та киснем. Високі вимоги до родючості ґрунту пояснюють обмежену адаптивність кореневої системи ялини.

Коренева система цього виду зазвичай залягає близько до поверхні, досягаючи глибини не більше 40–50 см, хоча ця межа залежить від типу ґрунту. Активні сисні корінці мають мікоризне покриття. Вони поширюються за межі проекції крони, часто в 1,5–2 рази перевищуючи її радіус, зосереджуючись переважно у гумусовому горизонті. Активне коренеутворення відбувається навесні, розпочинаючись за 10–14 днів до появи бруньок. Проте розвиток

коріння майже припиняється, коли температура ґрунту знижується до 5–6 °С, тоді як ріст пагонів уповільнюється при охолодженні до 7–10 °С [8, 9].

Дослідники А. Ю. Терентьев та О. П. Бала [36] зазначають, що ялина має широке застосування як у декоративному озелененні населених пунктів, так і в різних галузях господарства. Історично її деревина була одним із головних матеріалів для спорудження житлових і громадських будівель. Вона відзначається невеликою щільністю, світлим однорідним кольором, який зберігає стабільність у часі, а також добрими акустичними властивостями, що робить її цінною сировиною для виготовлення музичних інструментів. Крім того, зі смереки отримували смолу, живицю, дьоготь і деревний оцет, а сучасне використання охоплює й целюлозно – паперову промисловість. Хвоя цієї породи є джерелом ефірної олії та вітаміну С, а окремі продукти її переробки застосовуються в медицині, зокрема при лікуванні та загоєнні ран.

Європейська ялина, відома також як смерека, є основною лісотвірним видом в Українських Карпатах, який активно вирощують протягом більш ніж 130 років [14]. Основні площі ялинових насаджень зосереджені у трьох основних категоріях: ліси захисного типу, експлуатаційні ліси та ліси з природоохоронним статусом. За аналітичними даними, найбільша частка захисних лісів у межах лісогосподарських підприємств Івано–Франківської області припадає на вологі чисті смерекові субори (69,5 %) та вологі високогірні сушмеречини (55,9 %). Водночас у Чернівецькій області домінування експлуатаційних лісів спостерігається у вологих буково–ялицево–смерекових лісотипах, де їх частка становить 61,8 %. Ліси природоохоронного призначення найбільше поширені в умовах вологого чистосмерекового субору тієї ж області – їх частка сягає 82,3 % [26].

Як зазначив Ю. Шпарик [42], згідно з матеріалами лісовпорядкування 2010 року, площа ялинових насаджень у межах Українських Карпат становила близько 520 тис. га, при загальному запасі деревини на рівні 171 млн м³. Найбільші масиви ялиників були зосереджені у лісових господарствах державної форми власності, зокрема у «Осмолодському ЛГ» (приблизно 44 тис.

га), «Вигодському ЛГ» (42 тис. га) та «Путильському ЛГ» (38 тис. га). Серед об'єктів природно – заповідного фонду найбільш значні площі ялинових лісів знаходилися в Карпатському національному природному парку (27 тис. га) та у Національному природному парку «Синевир» (19 тис. га).

У сучасному лісовому господарстві, особливо в гірських районах, дедалі гостріше постає проблема масового всихання ялиників (рис. 1.2), яка нерідко набуває ознак природного лиха [28]. Як свідчать результати досліджень, у посушливі роки значне зниження рівня ґрунтових вод може спричинити масове всихання ялини європейської. Зазначається, що хоча після двох – трьох посух дерева ще зберігають певну життєздатність, четверта хвиля засушливих умов призводить до втрати їх біологічної стійкості. Особливо вразливою ялина виявляється за межами свого природного ареалу, де її опір несприятливим кліматичним чинникам є значно нижчим [11]. Упродовж останніх десяти років у Карпатському регіоні спостерігається інтенсивне всихання ялинових насаджень, що спричиняє низку екологічних змін, зокрема трансформацію структури біорізноманіття, скорочення об'ємів накопиченого вуглецю та зниження здатності лісів до вироблення кисню [43]. Окрім несприятливих кліматичних факторів, вагомим чинником ослаблення та всихання ялинових насаджень є поширення інфекційних хвороб, які уражають дерева на різних етапах їх розвитку.



Рис. 1.2. Візуалізація процесу всихання насаджень ялини європейської

Інфекційні захворювання ялини можуть проявлятися на різних етапах розвитку дерев – від сходів і молодих сіянців до дорослих рослин. Особливо небезпечними вважаються ураження кореневої системи та прикореневої частини стовбура. Такі пошкодження призводять до потемніння кореневої шийки, утворення перетяжок, загнивання та відмирання коренів, унаслідок чого рослина втрачає стійкість і легко виривається з ґрунту. За умов підвищеної вологості на уражених органах часто формується міцелій і конідіальне спороношення патогенів. Залежно від виду збудника прояви інфекції різняться: білі чи рожеваті павутинні нашарування з характерними мікро – і макроконідіями відзначають гриби роду *Fusarium*; оливково – бурій міцелій із ланцюжками конідій притаманний *Alternaria*; сірі дернинки свідчать про розвиток *Botrytis cinerea*, а білуваті чи бурі повітряні дернинки характерні для грибів роду *Verticillium*. У випадку зараження *Phytophthora cactorum* сіянці чорніють, в'януть і вкриваються ніжним біло – сірим нальотом. У подальшому розвитку дерев поширеними є хвороби, що уражають бруньки, пагони та хвою. Наприклад, гриб *Megaloseptoria* спричиняє утворення темних пікнід на бруньках, що завершується їх відмиранням. Значного поширення набули хвороби хвої, зокрема буре шюте, збудником якого є *Herpotrichia juniperi*; побуріння хвої, пов'язане з *Rhizosphaera kalkhoffii*; а також різні форми шюте, викликані грибами роду *Lophodermium*. Окрему групу становлять іржасті захворювання (*Chrysomyxa ledi*, *Chrysomyxa abietis*, *Chrysomyxa woronini*), які супроводжуються появою яскраво – помаранчевих спороношень та складними циклами розвитку із залученням проміжних живителів. Не менш небезпечними є хвороби стовбурів і пагонів. Зокрема, *Botrytis cinerea* може зумовлювати розвиток сірої плісняви, тоді як *Pestalotia hartigii* спричиняє некрози, відомі як песталоціоз, що проявляються темними конідіальними утвореннями та деформаціями стовбурів. Загалом патогени, які уражають ялину, належать до широкого спектра родів (*Fusarium*, *Alternaria*, *Botrytis*, *Verticillium*, *Phytophthora*, *Lophodermium*, *Chrysomyxa* та ін.) і здатні викликати комплексні пошкодження як підземних, так і надземних органів рослин [25]. Таким чином, різноманіття

інфекційних захворювань ялини не лише ускладнює її природне відновлення та знижує продуктивність насаджень, але й створює передумови для розвитку масштабніших деградаційних процесів, пов'язаних із всиханням лісів.

Дослідження А. М. Зейналян [15] свідчать, що інтенсивність всихання лісів тісно пов'язана з лісорослинними умовами, віковою структурою, породним складом і повнотою деревостанів. У більш сприятливих умовах деградаційні процеси проявляються значно слабше: площа всихання там у п'ять разів менша, ніж у середньопродуктивних умовах, а розмір осередків деградації знижується приблизно на 20 %. У сирих місцях частка таких площ у 50 разів менша, ніж у вологих ділянках, а масштаби ураження зменшуються утричі. Найбільше всихання спостерігається у фазі максимального приросту насаджень, після чого його інтенсивність поступово зменшується з віком дерев. Найвразливішими до всихання виявилися насадження з домінуванням ялини (понад 3–5 одиниць у складі), віком 40–60 років і повнотою 0,7–1,0. Також встановлено емпіричні залежності між інтенсивністю всихання та таксаційними характеристиками деревостанів. Водночас В. В. Лавний та О. Р. Пелюх [19] зазначають, що на думку дослідника Ю. М. Дебринюка, існує п'ять ключових чинників, що спричиняють деградацію ялинових лісів у Передкарпатському регіоні та на території Зовнішніх Карпат. Серед них: вирощування ялини європейської поза межами її природного ареалу, створення монокультурних насаджень, зменшення повноти деревостанів унаслідок лісогосподарських втручань, використання екотипів із низькою стійкістю до біотичних чинників, а також кліматичні зміни – зокрема літні посухи й надмірне зволоження ґрунту внаслідок тривалих опадів, такі умови послаблюють стійкість дерев до вітровалів (рис. 1.3), що може спричинити масові пошкодження лісових масивів. Враховуючи значний вплив зазначених чинників на стійкість ялинових насаджень, особливої ваги набувають лісогосподарські заходи, спрямовані на зниження інтенсивності деградаційних процесів та підтримання здорового стану лісів.



Рис. 1.3. Візуалізація процесів вітровалу у ялинових насадженнях

Серед комплексу лісгосподарських заходів, спрямованих на запобігання появі та поширенню шкідників і хвороб лісу, важливе місце займають вибіркові та санітарні рубки. Під час проведення санітарних рубок з насадження вилучають сухостійні дерева, екземпляри, уражені стовбуровими шкідниками, ослаблені або відмираючі особини (у яких засохло понад половини крони), а також вітровальні, буреломні, сніголомні та пошкоджені грибними чи раковими хворобами дерева. До цієї ж категорії належать і ті, що мають нахил стовбура понад 45° . Призначення хвойних порід до вибіркових чи санітарних рубок здійснюється за наявності характерних ознак: надмірна ажурність і пожовтіння крони, відсутність приросту при вершинному відмиранні, а також поява бурового борошна й інших слідів діяльності вторинних шкідників при окоренковому типі ураження. У випадку поширення кореневої губки вирубці підлягають як хворі дерева, так і ті, що ослабли та мають пожовтілу крону і вкорочену хвою [39].

Вибіркова вирубка зазначених категорій дерев здійснюється одноразово за умови, що після проведення робіт зімкнутість пологу не зменшується нижче 0,5 (для ялини й ялиці – не нижче 0,6). Якщо цей показник опускається нижче встановленої норми, розглядається можливість проведення суцільної санітарної рубки, рішення про яку ухвалює спеціальна комісія за участі інженера –

лісопатолога. На площах до 10 га у лісах перших трьох категорій суцільна санітарна рубка дозволяється обласними органами лісового господарства, а в експлуатаційних лісах – на площах до 100 га. Під час вибіркових санітарних рубок ведуть подеревний облік у межах кожного таксаційного кварталу. У деяких випадках дерева нумерують та маркують клеймом на кореневій лапі й на висоті 1,3 м. Відвід ділянок для рубки проводять у рік її здійснення. Найчастіше вибіркові та санітарні рубки застосовуються в середньовікових і пристигаючих насадженнях. В Україні вони забезпечують близько 35 % обсягів проміжного користування та складають приблизно 20 % від головного користування [39]. Разом із питанням організації санітарних рубок важливим аспектом ведення лісового господарства є відновлення лісів на ділянках, де ялинові насадження зазнали значних втрат.

Дослідник Ю. С. Шпарик [43] зазначає, що у разі відсутності природного поновлення на ділянках загиблих ялинових насаджень здійснюють штучне лісовідновлення, при цьому зазвичай застосовують інші головні деревні породи. Така практика призводить до поступової зміни домінуючої породи з ялини на бук або ялицю, хоча самі площі вкритих лісовою рослинністю територій не зменшуються. Водночас, порушення стабільності ялинових екосистем у регіоні розглядається переважно з теоретичних позицій, без достатнього рівня емпіричних підтверджень. У згаданих дослідженнях здійснено спробу кількісно оцінити масштаби та напрям цих трансформацій на основі повторного обстеження постійних пробних площ.

1.3. Загальні тенденції досліджень екосистемних функції лісів

Як зазначають Р. Д. Васишин, М. О. Лакида, та інші [20], екосистемні функції лісових угруповань тісно пов'язані з їхнім запасом та динамікою приросту фітомаси. У цьому контексті визначення вуглецедепонувальної, киснепродукувальної та енергетичної функцій може здійснюватися на основі

показників питомої інтенсивності виконання відповідної функції, а також даних про кількість фітомаси в межах досліджуваної території. Перший підхід найчастіше використовується у фізіологічних, генетичних і таксаційних дослідженнях, тоді як другий може реалізовуватися як у вигляді узагальнених оцінок на рівні адміністративних одиниць, так і в деталізованій формі для окремих лісогосподарських ділянок, залежно від наявних моделей і методичного забезпечення.

Поєднання зазначених складових дозволяє здійснювати кількісне оцінювання здатності лісових фітоценозів до акумулювання вуглецю, виробництва кисню та збереження енергетичного потенціалу. Для оцінки чистої первинної продукції (ЧПП) використовується напівемпіричний метод, запропонований А. З. Швиденком, який базується на тому, що ЧПП у певному віці лісостану є аналогом річної загальної продукції фітомаси. Такий підхід дозволяє розглядати її як масу органічної речовини, синтезованої екосистемою протягом одиниці часу, що може бути відображено у вигляді різниці між накопиченою продукцією на початку та в кінці звітної періоду.

Для обчислення вуглецедепонувальної функції враховуються як запаси сухої біомаси, так і показники ЧПП, із подальшим визначенням частки вуглецю в органічній речовині. Згідно з науковими даними, цей показник становить у середньому 0,50 для деревини та 0,45 для деревної зелені [47]. Переведення результатів у CO₂ – еквівалент є важливою умовою подальшого економічного аналізу екосистемних послуг.

Виробництво кисню лісами розглядається як один із ключових результатів фотосинтезу. Лісові екосистеми поряд з океанами мають провідне значення у глобальному кисневому циклі, продукуючи у багато разів (10–15) більше кисню, ніж інші наземні рослинні формації. Хоча на планетарному рівні ліси не впливають суттєво на баланс кисню, їхня роль на регіональному та локальному рівнях є визначальною, особливо в зонах з високою щільністю населення та промисловості. Тому моніторинг та кількісне оцінювання киснепродукувальної функції лісів набувають особливого значення. Для цього застосовують два

основні показники: запас сухої біомаси та кількість кисню, що виділяється під час утворення однієї тонни органічної речовини, яка для більшості лісоутворюючих порід варіює в межах 1393–1423 кг.

Оцінювання енергетичного потенціалу лісів здійснюється з урахуванням питомої енергоемності різних компонентів біомаси. В Україні при дослідженнях виділяють п'ять рівнів цього потенціалу: теоретично можливий, технічно доступний, екологічно безпечний, економічно доцільний та соціально зумовлений [4]. При цьому наголошується на необхідності врахування принципів сталого розвитку, які передбачають баланс між економічними вигодами, екологічною безпекою та потребами місцевих громад. Одним із важливих критеріїв сталого використання деревної біомаси є відповідність заготівлі річному приросту лісів, що гарантує відновлюваність і мінімізацію негативного впливу на довкілля.

Висновки по розділу 1

Аналіз літературних джерел показав, що вуглець є фундаментальним елементом життя, а його стабільний кругообіг у біосфері значною мірою забезпечується лісовими екосистемами. Ліси виконують роль глобальних акумуляторів органічної речовини та «вуглецевих пасток», завдяки чому зменшується концентрація парникових газів в атмосфері. Тому їх збереження та відновлення визнано одним із ключових завдань міжнародної кліматичної політики, зокрема в межах Паризької угоди.

Аналіз існуючого наукового доробку свідчить, що оцінювання екосистемних функцій лісів має базуватися на показниках динаміки фітомаси, чистої первинної продукції та запасів біомаси. Поєднання цих підходів дає змогу визначати масштаби депонування вуглецю, виробництва кисню й енергетичного потенціалу фітоценозів, а переведення результатів у CO₂ – еквівалент створює основу для економічної оцінки екосистемних послуг.

Ялина європейська займає особливе місце серед лісоутворюючих порід Українських Карпат. Завдяки високій продуктивності, тіньовитривалості та цінним властивостям деревини, вона широко використовувалась у створенні лісових культур, що зумовило значне поширення природних і штучних ялинників. Нині понад 88 % їх площ зосереджено в Карпатському регіоні. Водночас тривале вирощування монокультур поза природним ареалом підвищило їхню вразливість до кліматичних та біотичних чинників.

Серед головних причин деградації ялинників – зміна гідротермічного режиму, часті посухи, перезволоження ґрунтів, поширення хвороб і стовбурових шкідників, а також вітровали, що посилюють руйнівні процеси. Масове всихання супроводжується зниженням біологічної стійкості, продуктивності, запасів депонованого вуглецю, зміною структури біорізноманіття та ослабленням екосистемних функцій.

Для подолання цих негативних тенденцій науковці пропонують комплекс лісогосподарських заходів – вибіркові та санітарні рубки, спрямовані на вилучення ослаблених дерев, і відновлення лісів на деградованих ділянках. У разі неможливості природного поновлення рекомендується застосування штучного лісовідновлення з використанням корінних порід – бука чи ялиці, що сприяє збереженню екологічної рівноваги.

Отже, проблема всихання ялинників Українських Карпат має екологічне, кліматичне й економічне значення. Її розв'язання потребує інтегрованого підходу, який поєднує моніторинг стану лісів, впровадження адаптивних технологій ведення лісового господарства, використання стійких екотипів та виконання міжнародних кліматичних зобов'язань. Збереження і відновлення ялинових лісів є вирішальним чинником підтримання вуглецедепонувальної функції лісів України й вагомим внеском у глобальну боротьбу зі змінами клімату.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИГОДСЬКОГО НАДЛІСНИЦТВА

2.1. Обґрунтування вибору об'єкту дослідження

Вибір Вигодського надлісництва як об'єкта дослідження у межах теми «Вплив обсягів всихання ялинових насаджень на виконання ними вуглецедепонувальної функції» зумовлений комплексом екологічних, соціально – економічних та науково – практичних чинників. Насамперед, регіон розташований у гірській частині Українських Карпат, де ліси відіграють надзвичайно важливу роль у збереженні екологічної рівноваги, виконанні ґрунтозахисних і водорегулюючих функцій, а також у підтриманні кліматичної стабільності. Особливе значення мають ялинові насадження, які є типовими для цієї місцевості та забезпечують значний обсяг депонування вуглецю завдяки своїй біопродуктивності.

Проте останніми роками у Вигодському надлісництві спостерігається інтенсивне пошкодження ялини, спричинене поєднанням кліматичних змін, поширенням хвороб та шкідників, а також наслідками попередньої господарської діяльності. Ці процеси істотно знижують здатність лісів виконувати вуглецедепонувальну функцію, що особливо актуалізує необхідність наукової оцінки масштабів проблеми.

Соціальна значущість лісів для територіальних громад Вигодщини є ще одним фактором, що визначає доцільність дослідження. Ліси не лише забезпечують населення ресурсами, але й виступають важливим індикатором екологічної безпеки та якісного середовища проживання. Зменшення вуглецевого потенціалу ялинових насаджень може мати як локальні, так і глобальні наслідки, оскільки пов'язане із викидами CO₂ в атмосферу та посиленням проявів кліматичних змін [27].

Крім того, у науковому та практичному аспектах дослідження саме у цьому надлісництві є перспективним з огляду на наявність значних площ ялинових лісів, відсутність достатніх системних оцінок їхнього вуглецедепонувального потенціалу та потребу у розробленні науково обґрунтованих заходів щодо мінімізації негативних наслідків процесів всихання. Таким чином, обраний об'єкт є репрезентативним для аналізу сучасних екологічних викликів у лісовому господарстві Карпатського регіону та дозволяє отримати результати, що можуть бути використані як для удосконалення лісогосподарської практики, так і для формування регіональної та національної екологічної політики.

2.2. Характеристика базових методів дослідження

Організація наукових досліджень у лісівничій галузі потребує комплексного та багатокomпонентного підходу, який поєднує класичні традиції лісової таксації, сучасні методи біометрії та широке використання математико – статистичних узагальнень. Усі методичні положення формувалися з урахуванням закономірностей росту та будови деревостанів, а також впливу природних факторів, які істотно відрізняються залежно від регіону. Важливими серед них є рельєф території, кліматичні умови, типи ґрунтів, водний режим і характер рослинного покриву. Сукупність цих чинників формує унікальні умови для функціонування лісових екосистем та визначає специфіку підходів до планування і проведення досліджень [22].

Суттєве значення у вивченні біопродуктивності деревостанів мала методика збору та аналізу експериментальних матеріалів, розроблена П. І. Лакидою [21]. Вона широко випробована у науковій практиці та відзначається універсальністю, оскільки базується на моделюванні фітомаси як окремого дерева, так і деревостану в цілому. Методика враховує закономірності діаметральної структури, що дозволяє отримувати репрезентативні результати. Її перевага полягає у гармонійному поєднанні класичних елементів лісотаксації

з новітніми біометричними підходами та статистичними процедурами, завдяки чому досягається високий рівень достовірності.

Подальша робота з експериментальними даними здійснювалася із використанням сучасних інформаційних технологій. Центральне місце посідав табличний процесор Microsoft Excel, який забезпечував не лише систематизацію та збереження даних, а й проведення обчислень. Це дало змогу ефективно працювати з великим масивом інформації, узагальнювати її та формувати базу для подальших висновків. Додатково застосовувалися спеціалізовані програмні засоби для статистичних розрахунків, що сприяло підвищенню точності, а також дозволяло будувати результати у вигляді таблиць.

Таким чином, методичний підхід, який лежав в основі дослідження, був комплексним і інтегрованим. Він об'єднував натурні спостереження, біометричні розрахунки та математико–статистичні процедури, що дало змогу отримати об'єктивні показники біопродуктивності деревостанів і оцінити їхній внесок у процеси вуглецедепонування. Використання поєднання класичних і сучасних методів підвищує наукову та практичну цінність досліджень, забезпечує багаторівневу перевірку достовірності результатів і створює ґрунтовну основу для подальших аналітичних узагальнень [21, 22].

2.3. Характеристика організаційної структури та лісового фонду Вигодського надлісництва

Вигодське надлісництво розташоване в північно – західній частині Івано–Франківської області, на території Калуського району, у селищі міського типу Вигода (вул. Данила Галицького, 40). Вигляд підприємства зображено на рисунку 2.1. Територія господарства охоплює гірську та передгірну частину Українських Карпат (табл. 2.1), що зумовлює різноманітність природних умов.



Рис. 2.1. Контора Вигодського надлісництва

Таблиця 2.1

Структура та загальна площа підприємства

№	Найменування лісництва	Загальна площа, га
1	Бескидське	5912,0
2	Бистрівське	6227,0
3	Вишківське	4713,0
4	Ільм'янське	6419,8
5	Людвиківське	5417,5
6	Мало – Турянське	2207,0
7	Мізунське	3733,0
8	Свічівське	6560,0
9	Слобідське	4665,0
10	Собольське	5058,0
11	Солотвинське	4773,0
12	Шевченківське	4243,0
Всього		59928,3

Загальна площа земель лісового фонду підприємства становить 59928,3 га (табл. 2.1), з яких 54182,0 га. вкриті ліською рослинністю [30]. Аналіз ліського фонду свідчить, що деревостани у досліджуваному господарстві представлені широким спектром порід, проте домінуюче положення займають ялинові насадження. Згідно з даними таблиці (табл. 2.2), площа ялини європейської становить 39,5 тис. га, що дорівнює понад 72 % від загальної площі ліських виділів (54,2 тис. га). Запас деревини цієї породи сягає 13,4 млн м³, тобто понад трьох чвертей сумарного запасу деревини по господарству (17,7 млн м³). Це підтверджує провідне значення ялини у формуванні ліських екосистем регіону.

Другою за поширеністю породою є бук ліський, площа якого перевищує 10,1 тис. га (18,7 %). Загальний запас букових насаджень оцінюється у 3,3 млн м³, що свідчить про їх високу продуктивність та значну частку у структурі деревостанів. На третьому місці за площею перебуває ялиця біла (3,1 тис. га), запас якої становить понад 785 тис. м³.

Інші деревні види представлені в значно менших масштабах. Наприклад, площа дуба звичайного становить 236,5 га при запасі 35,9 тис. м³, а дуба червоного – 100 га при запасі 15 тис. м³. Хвойні породи, такі як модрина європейська, модрина японська та псевдотсуга Мензіса, займають невеликі площі (до 30 га), проте відзначаються достатньо високою продуктивністю.

Таблиця 2.2

Структура ліських насаджень за деревними породами

Деревний вид	Площа виділу, га	Загальний запас, тис. куб. м
Береза повисла	418,1	73,4
Бук ліський	10128,5	3304,5
Верба біла	6,4	0,5
Вільха сіра	304,9	31,5
Вільха чорна	29,8	3,4
Горобина звичайна	0,7	0,1
Граб звичайний	2,3	0,3
Дуб звичайний	236,5	35,9

Продовження табл. 2.2

Деревний вид	Площа виділу, га	Загальний запас, тис. куб. м
Дуб червоний	100,0	15,0
Липа дрібнолиста	4,6	0,6
Модрина європейська	30,2	10,4
Модрина японська	3,0	0,8
Осика	3,0	0,1
Псевдотсуга мензиса	0,9	0,0
Сосна гірська	153,1	2,3
Сосна звичайна	92,1	24,3
Сосна кедрова європейська	1,1	0,1
Явір	69,6	15,1
Ялина європейська	39472,3	13427,5
Ялиця біла	3124,9	785,7
Разом	54182,0	17731,7

Загалом, наведені показники свідчать про яскраво виражене монопольне домінування ялини європейської у структурі лісів регіону, що визначає як лісівничі, так і екологічні особливості ведення господарства. Водночас наявність букових та ялицевих насаджень підсилює біорізноманіття, формуючи мішані деревостани та забезпечуючи додаткові екосистемні функції.

Розподіл лісових насаджень за класами бонітету демонструє загальний рівень їх продуктивності та потенціал формування запасів деревини [18]. Як видно з таблиці (табл. 2.3), найбільші площі займають насадження високих класів продуктивності. Так, до класу I віднесено 24,3 тис. га із запасом понад 7,6 млн м³, до класу I^a – 10,1 тис. га із запасом 4,3 млн м³, та 1,5 тис. га запасом 0,8 млн м³ припадає на I^b і вищі класи бонітету. Разом ці категорії становлять дві третини всієї площі (66 %) та близько 72 % від загального запасу деревини, що свідчить про високу якість лісів господарства.

До середніх класів продуктивності належать насадження II та III класів, площа яких становить відповідно 13,3 тис. га та 3,4 тис. га. Їх запас оцінюється у

3,97 млн м³ і 0,85 млн м³, що підтверджує їх значний внесок у загальну ресурсну базу.

Таблиця 2.3

Розподіл лісових насаджень за класами бонітету

Клас бонітету	Площа виділу, га	Загальний запас, тис. куб. м
Г ^b і вище	1502,4	769,62
I ^a	10057,7	4268,05
I	24348,9	7670,50
II	13310,8	3965,17
III	3382,9	846,67
IV	1223,9	193,87
V	146,5	13,50
V ^a	50,2	1,89
V ^b	158,7	2,43
Разом	54182	17731,70

Нижчі класи бонітету (IV, V, V^a, V^b) представлені значно меншими площами – від 50 до 1224 га. Їхній сумарний запас становить понад 0,2 млн м³, що вказує на обмежену продуктивність цих насаджень. Разом із тим, вони можуть відігравати важливу екологічну роль, зокрема у підтриманні біорізноманіття та стабільності лісових екосистем.

Отже, узагальнені показники свідчать про домінування високопродуктивних насаджень (I^a та I класу) у структурі лісів, що створює сприятливі умови для ефективного ведення лісового господарства, але водночас підкреслює необхідність належного догляду за нижчими класами для забезпечення стійкості лісових екосистем у довгостроковій перспективі.

Важливим показником структури лісових насаджень є їх розподіл за віковими групами, що відображає динаміку розвитку деревостанів та їх ресурсний потенціал. Як свідчать дані (табл. 2.4), найбільшу частку займають середньовікові насадження, площа яких перевищує 25,4 тис. га, а сумарний запас

становить понад 9,4 млн м³. Ця категорія формує майже половину площі та більше половини запасу деревини господарства.

Значною площею також характеризуються молодняки більше 10,5 тис. га, проте їхній запас становить лише 1,1 млн м³. Пристигаючі насадження – понад 8,4 тис. га із запасом близько 3,3 млн м³. Це свідчить про високий потенціал формування стиглих деревостанів у найближчій перспективі.

Стигли деревостани охоплюють 7,3 тис. га, їхній запас становить близько 2,9 млн м³, що підкреслює їх вагому роль у забезпеченні загального обсягу ресурсів. Перестійні насадження, хоча й займають лише 2,4 тис. га, мають запас майже 1 млн м³, що вказує на значний потенціал заготівлі, але водночас і на необхідність лісівничих заходів з оновлення таких ділянок.

Таблиця 2.4

Розподіл лісових насаджень за групами віку

Група віку	Площа виділу, га	Загальний запас, тис. куб. м
Молодняки	10527,6	1113,81
Середньовікові	25453,1	9444,25
Пристигаючі	8405,9	3282,16
Стигли	7318	2895,27
Перестійні	2448,9	987,97
Разом	54182	17731,70

Таким чином, результати аналізу свідчать про переважання середньовікових лісів, що формує позитивні передумови для стабільного лісокористування у довгостроковій перспективі, водночас актуалізуючи необхідність планового відновлення перестійних і стиглих деревостанів.

За походженням лісові насадження господарства мають різну структуру, що відображає як природні, так і антропогенні фактори формування деревостанів. Як свідчать узагальнені дані (табл. 2.5), основна площа охоплює ліси насінного походження, які поділяються на природні та штучні. Зокрема, природне насінневе походження займає понад 25,1 тис. га із запасом деревини понад 8,7 млн м³. Це становить майже половину загальної площі насаджень і

підкреслює значний внесок природних процесів у формування сучасних лісових екосистем.

Найбільшу площу, однак, мають насадження штучного насінневого походження – 28,5 тис. га, їхній запас оцінюється близько 8,9 млн м³. Такий результат свідчить про вагомую роль лісогосподарських заходів з відтворення лісів у регіоні та підтверджує тенденцію до домінування штучно створених деревостанів у структурі лісового фонду.

Веgetативні паросткові насадження представлені в найменшому обсязі – лише 555,9 га із запасом близько 80 тис. м³, що становить 1 % для площі та менше 1% для запасу. Незважаючи на їхню обмежену площу, такі деревостани мають значення для збереження біорізноманіття та як резервні ділянки відновлення.

Таблиця 2.5

Розподіл лісових насаджень за походженням

Походження	Площа виділу, га	Загальний запас, тис. куб. м
Веgetативне	555,9	80,57
Насінне природне	25151,1	8757,40
Насінне штучне	28475	8893,73
Разом	54182	17731,70

Загалом, дані аналізу свідчать про переважання штучно створених та природних насінневих лісів, що разом формують 99 % площі та запасу деревини. Це визначає стратегічні напрями ведення лісового господарства, де головний акцент має бути зосереджений на підтриманні стійкості штучних насаджень та збереженні потенціалу природних екосистем.

Структура лісових насаджень за типами лісорослинних умов (ТЛУ) відображає особливості їхнього розподілу та продуктивності. Згідно з наведеними даними (табл. 2.6), найбільші площі зосереджені у вологих сугрудах (С₃), що становить близько 45,5 тис. га із сумарним запасом понад 14,8 млн м³. Це майже 84 % загальної площі та понад 83 % запасу деревини, що свідчить про провідне значення даних умов для формування деревостанів у господарстві.

Досить значну площу займають також насадження типу вологі груди (D_3) – понад 5,4 тис. га з запасом 2,1 млн м³, що складає близько 12 % загального запасу деревини. Інші типи лісорослинних умов мають значно менші площі та запаси. Наприклад, у вологих суборах (B_3) зосереджено 1,7 тис. га з запасом 524 тис. м³, тоді як у свіжих сугрудах (C_2) – 855,4 га із запасом 229,5 тис. м³.

Мінімальні показники зафіксовані у вологих борах (A_3), мокрих борах (A_5) та свіжих суборах (B_2), площа яких не перевищує 121 га, а запас не перевищує 2,2 тис. кубічних метрів. Це свідчить про їх обмежене лісівниче значення та незначний внесок у ресурсний потенціал господарства.

Таблиця 2.6

Розподіл лісових насаджень за типами лісорослинних умов

ТЛУ	Площа виділу, га	Загальний запас, тис. куб. м
A_3	120,6	2,17
A_5	12	0,55
B_2	16,7	0,80
B_3	1731,1	524,18
B_4	33	8,45
D_3	5401	2067,89
D_4	55,7	7,77
C_2	855,4	228,15
C_3	45480,4	14813,67
C_4	476,1	78,06
<i>Разом</i>	54182	17731,70

Отже, розподіл насаджень характеризується чітким домінуванням вологих сугруд (C_3), який формує основу лісового фонду як за площею, так і за запасами деревини. Наявність менш продуктивних ТЛУ вказує на різноманітність природних умов території.

Ліси досліджуваного надлісництва виконують різні функції, що зумовлює їх поділ за категоріями. Як свідчать дані (табл. 2.7), найбільшу площу займають експлуатаційні ліси – 25,8 тис. га із запасом понад 8,3 млн м³. Вони становлять

майже половину всіх лісових площ та формують основу ресурсного потенціалу господарства. Протиерозійні ліси охоплюють 15,6 тис. га, а їх запас перевищує 5,3 млн м³. Важливе місце займають також заказники, площа яких становить 3,1 тис. га із запасом 1,1 млн м³, та заповідні урочища – 2,5 тис. га з обсягом деревини 879,9 тис. м³. Ліси уздовж берегів річок і навколо водойм 3,6 тис. га, запас 1,2 млн м³ а ліси вздовж смуг відведення 923,3 га, запас 282,4 тис. м³. Лісопаркові ділянки у складі зелених зон займають 260,4 га, пам'ятками природи 92,8 га та рекреаційно–оздоровчі ліси поза межами населених пунктів 281,9 га. Незважаючи на відносно невеликі площі, вони мають високу природоохоронну та соціальну цінність.

Таблиця 2.7

Розподіл лісових насаджень за категоріями захисності

Категорія захисності	Площа виділу, га	Загальний запас, тис. куб. м
Експлуатаційні ліси	25795,00	8303,95
Заказники	3101,30	1121,99
Заповідні лісові урочища	2506,40	879,93
Ліси наукового призначення	27,00	13,12
Ліси протиерозійні	15604,50	5364,40
Ліси уздовж берегів річок	3630,40	1165,30
Ліси уздовж смуг відведення автомобільних доріг	923,30	282,35
Лісогосподарська частина лісів зелених зон	1959,00	438,34
Лісопаркова частина лісів зелених зон	260,40	37,57
Пам'ятки природи'	92,80	26,59
Рекреаційно–оздоровчі ліси за межами зелених зон	281,90	98,15
Разом	54182,00	17731,70

Таким чином, аналіз розподілу за категоріями свідчить про поєднання інтенсивного використання ресурсних лісів із значною питомою вагою захисних,

природоохоронних і рекреаційних насаджень, що забезпечує баланс між економічними потребами та екологічними функціями лісового господарства.

Висновки по розділу 2

Проведений аналіз показав, що Вигодське надлісництво є репрезентативним об'єктом для дослідження проблеми впливу всихання ялинових насаджень на їхню вуглецедепонувальну функцію. Географічне розташування у межах гірської частини Українських Карпат зумовлює особливу роль лісів у збереженні екологічної рівноваги. Домінування ялини у структурі лісового фонду визначає як природні, так і господарські особливості регіону.

Методика дослідження ґрунтувалася на поєднанні класичних прийомів лісової таксації з біометричними та математико–статистичними підходами. Використання сучасних інформаційних технологій дало змогу систематизувати значний обсяг даних, здійснити побудову прогнозів, що підвищило наукову обґрунтованість отриманих результатів. Такий комплексний підхід дозволив одержати достовірні показники процесів поглинання й акумулювання вуглецю.

Характеристика організаційної структури надлісництва підтвердила високу продуктивність насаджень, зокрема значну частку високобонітетних і середньовікових лісів. Це формує потенціал для стабільного лісокористування у довгостроковій перспективі, але водночас виявляє проблеми, пов'язані з наявністю перестійних та низькобонітетних ділянок, які потребують посиленого догляду. Аналіз за віковою, породною та походжувальною структурами засвідчив баланс між природними й штучними деревостанами, а також важливу роль захисних і рекреаційних категорій у забезпеченні екологічних функцій.

Вигодське надлісництво поєднує значний ресурсний потенціал із серйозними екологічними викликами. Його аналіз є основою для розроблення ефективних стратегій управління лісами, спрямованих на збереження вуглецедепонувальної функції та стійкості екосистем Карпат.

РОЗДІЛ 3

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ВТРАТИ ВУГЛЕЦЕДЕПОНУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЯЛИНОВИХ НАСАДЖЕНЬ ВИГОДСЬКОГО НАДЛІСНИТЦВА

3.1. Лісівничо–таксаційна характеристика ялинових деревостанів досліджуваного надлісництва

Лісівничо–таксаційна характеристика є основою для проведення оцінки екологічних і продуктивних властивостей лісових екосистем, зокрема їхньої здатності до депонування вуглецю. Аналіз структури насаджень за класами бонітету, походженням і площею дає змогу встановити рівень продуктивності ялинових лісів, визначити їх потенціал у поглинанні вуглецю та оцінити зміни, що можуть відбуватися внаслідок деградаційних процесів чи господарського впливу [51].

Вигодське надлісництво характеризується різноманітними лісорослинними умовами, що зумовлює формування деревостанів різних класів бонітету та походження. Для об'єктивного уявлення про стан ялинових насаджень проведено розподіл площ за класами бонітету з урахуванням їх походження – природного насінного та штучного (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Розподіл площ ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за класами бонітету, га

Клас бонітету	Походження		Загальна площа
	насінне природне	насінне штучне	
Г ^b і вище	28,8	1330,9	1359,7
Г ^a	1178,1	7396,5	8574,6
I	5386,2	11490,9	16877,1
II	4817,0	4059,1	8876,1

Продовження табл. 3.1

Клас бонітету	Походження		Загальна площа
	насіenne природне	насіenne штучне	
III	1598,5	944,2	2542,7
IV	683,3	394,4	1077,7
V	127,9	36,5	164,4
Разом	13819,8	25652,5	39472,3

Загальна площа ялинових насаджень у межах надлісництва становить більше 39,5 тис. га, з яких 13,8 тис. га припадає на насадження природного насінного походження та більше 25,6 тис. га – на штучні. Найбільшу частку займають деревостани I класу бонітету, площа яких сягає 16,8 тис. га, що свідчить про високий рівень продуктивності та сприятливі лісорослинні умови. Значну площу також становлять насадження II класу бонітету – 8,9 тис. га, які зберігають високі таксаційні показники.

Вищі класи бонітету (I^a та I^b і вище) загалом охоплюють 9,9 тис. га, демонструючи наявність ділянок із максимальним потенціалом росту ялини. Натомість площі деревостанів IV–V класів бонітету є порівняно незначними (1,2 тис. га у сумі), що вказує на обмеженість малопродуктивних ділянок і підтверджує загалом високу якість ялинових насаджень у межах Вигодського надлісництва.

За походженням переважають штучно створені насадження, що становить близько 65 % від загальної площі. Така структура пояснюється активним впровадженням лісовідновних заходів у минулі десятиліття, спрямованих на підвищення стійкості ялини в гірських умовах. Водночас природні насадження, особливо високобонітетні, мають важливе значення як еталонні екосистеми для збереження генетичного потенціалу та стабільності лісового покриву.

Отже, результати аналізу свідчать, що ялинові ліси Вигодського надлісництва характеризуються високою продуктивністю та значною часткою насаджень із високими класами бонітету, що є важливою передумовою для ефективного виконання ними вуглецедепонувальної функції.

Для більш повної характеристики ялинових насаджень Вигодського надлісництва було побудовано також розподіл запасів деревини за класами бонітету та походженням насаджень (табл. 3.2). Цей показник є важливим для оцінки загальної продуктивності лісового фонду, визначення потенціалу акумулювання біомаси та відповідно – здатності до депонування вуглецю в екосистемах ялинових лісів.

Таблиця 3.2

Розподіл запасів ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за класами бонітету, тис. м³

Клас бонітету	Походження		Загальний запас
	насіenne природне	насіenne штучне	
Г ^b і вище	14,49	709,78	724,27
Г ^a	538,76	3248,25	3787,01
I	1998,27	3471,72	5469,99
II	1828,31	758,98	2587,29
III	547,32	115,83	663,15
IV	164,41	17,89	182,30
V	12,48	1,01	13,49
Разом	5104,04	8323,46	13427,50

Загальний запас ялинових деревостанів у межах надлісництва становить більше 13,4 млн м³. Із цієї кількості 5,1 млн м³ припадає на деревостани природного насінного походження, та понад 8,3 млн м³ – на штучно створені насадження. Така структура підтверджує переважання штучних лісів не лише за площею, а й за запасом деревини, що вказує на їхню високу продуктивність у межах регіону.

Найбільший обсяг запасів припадає на насадження I класу бонітету – 5,4 млн м³, що становить понад 40 % від загального запасу ялини. Високі значення запасу спостерігаються також у насадженнях II класу бонітету – 2,5 млн м³ та Г^a класу – 3,7 млн м³. Ці показники свідчать про оптимальні лісорослинні умови, які забезпечують активний ріст ялини та накопичення біомаси.

Деревостани нижчих класів бонітету (III–V) характеризуються меншими запасами, що є природним наслідком їх обмеженого росту в менш сприятливих умовах. Зокрема, для III класу бонітету сумарний запас становить близько 0,7 млн м³, для IV класу – близько 0,2 млн м³, а для V класу – лише 13,5 тис. м³. Така тенденція демонструє закономірне зниження продуктивності зі зменшенням якості лісорослинних умов.

За походженням найбільші обсяги запасів спостерігаються в штучних насадженнях високих класів бонітету. Це підтверджує ефективність проведених лісовідновних заходів і підвищену продуктивність культур ялини в умовах Вигодського надлісництва. У цілому, ялинники надлісництва характеризуються високими таксаційними показниками: значна частка деревостанів належить до високобонітетних класів, що визначає ключову роль у накопичення вуглецю.

Для ялинових лісів Вигодського надлісництва здійснено розподіл насаджень за відносною повнотою (табл. 3.3). Повнота є важливим показником для характеристики стійкості насаджень, їх здатності до саморегуляції та виконання екологічних функцій, зокрема акумулювання вуглецю. Високоповнотні деревостани зазвичай мають більшу фітомасу, а отже, і більший запас вуглецю у надземних і підземних органах дерев.

Таблиця 3.3

Розподіл площ ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за відносною повнотою, га

Відносна повнота	Походження		Загальна площа
	насіenne природне	насіenne штучне	
0,3–0,4	855,5	51,5	907,0
0,5	2555,9	330,5	2886,4
0,6	3848,8	1143,3	4992,1
0,7	4153,2	4813,9	8967,1
0,8	1636,8	11360,6	12997,4
0,9 і вище	769,6	7952,7	8722,3
Разом	13819,8	25652,5	39472,3

Загальна площа ялинових насаджень надлісництва становить близько 39,5 тис. га, з яких 13,8 тис. га припадає на природні насадження та 25,6 тис. га – на штучно створені. Найбільшу частку серед них становлять насадження з повнотою 0,8, площа яких досягає майже 13 тис. га, що свідчить про переважання добре зімкнених, високопродуктивних деревостанів.

Достатньо значними є площі з повнотою 0,7 – понад 8,9 тис. га, які також характеризуються стійким розвитком і високими запасами біомаси. Водночас насадження із зниженими показниками повноти (0,3–0,5) охоплюють лише 3,8 тис. га, що вказує на відносно незначну частку розріджених деревостанів, які потребують лісівничих заходів для покращення стану.

Найвищу повноту – 0,9 і вище – мають насадження на площі 8,7 тис. га, з яких більшість становлять штучні ліси (7,9 тис. га). Це свідчить про ефективне формування культур ялини в межах надлісництва, де при раціональному догляді вдається досягти високої густоти насаджень і стабільного росту дерев.

Таким чином, розподіл ялинових насаджень за повнотою демонструє переважання високоповнотних і середньоповнотних деревостанів, що є ознакою їх високої біопродуктивності. Домінування таких лісів має позитивний вплив на вуглецедепонувальну здатність території, оскільки густі та добре розвинені насадження акумулюють більші обсяги вуглецю в біомасі та ґрунті.

Для більш повного уявлення про продуктивність ялинових насаджень досліджуваного надлісництва зроблено також розподіл запасів деревини за відносною повнотою (табл. 3.4). Цей показник тісно пов'язаний зі структурою деревостанів і відображає не лише їх зімкненість, а й здатність до накопичення біомаси, що безпосередньо впливає на рівень депонування вуглецю.

Таблиця 3.4

Розподіл запасів ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за відносною повнотою, тис. м³

Відносна повнота	Походження		Загальний запас
	насінне природне	насінне штучне	
0,3–0,4	222,27	8,64	230,91
0,5	865,65	86,87	952,52
0,6	1512,25	357,03	1869,28
0,7	1682,11	1437,73	3119,84
0,8	579,02	3626,84	4205,86
0,9 і вище	242,74	2806,34	3049,08
Разом	5104,04	8323,46	13427,50

За даними таблиці, загальний запас ялинових деревостанів становить понад 13,4 млн м³, з яких 5,1 млн м³ припадає на природні насадження, а 8,3 млн м³ – на штучно створені. Найбільша частка запасів зосереджена у насадженнях з повнотою 0,8–4,2 млн м³, що підтверджує високий рівень їх зімкненості та стабільності лісових біоценозів.

Вагомий внесок у загальний запас мають також деревостани з повнотою 0,7–3,1 млн м³. Ці насадження відзначаються оптимальним поєднанням густоти та ростових умов, що забезпечує інтенсивне накопичення деревної маси. Значні показники спостерігаються й у високоповнотних лісах (0,9 і вище) – понад 3,0 млн. м³, що підкреслює важливість таких ділянок для підтримання стабільності екосистеми.

У свою чергу, насадження з низькою повнотою (0,3–0,5) характеризуються істотно меншими запасами – 0,2 млн м³ і 0,9 млн м³ відповідно. Це може бути пов'язано з частковим зменшенням дерев унаслідок всихання, вітровалів чи господарських заходів.

Серед насаджень різного походження найбільші запаси характерні для штучних високоповнотних лісів, де на площах із повнотою понад 0,8

акумульовано понад 6,4 млн м³ деревини, що становить понад 77 % загального запасу штучних ялинників. Це свідчить про високу ефективність створених культур, їх добру приживлюваність і стабільний розвиток у гірських умовах.

Отже, структура запасів за повнотою демонструє переважання середньо – та високоповнотних насаджень, що формує позитивний баланс вуглецедепонування у межах Вигодського надлісництва. Саме такі деревостани забезпечують найбільший екологічний ефект, виконуючи важливу роль у стабілізації клімату, регуляції газового складу атмосфери та підтриманні біогеохімічних циклів у регіоні.

Вікова структура лісових насаджень є одним із визначальних показників, що відображає стан, стійкість і продуктивність лісових екосистем, а також їхню здатність до виконання екологічних функцій, зокрема акумулювання та зберігання вуглецю. Розподіл ялинових насаджень Вигодського надлісництва за віковими групами (табл. 3.5) дає змогу оцінити динаміку розвитку деревостанів і характер лісогосподарського впливу. Рівномірна структура площ за віком свідчить про стабільність ведення лісового господарства, тоді як домінування молодняків або старовікових насаджень може вказувати на фази відновлення лісів чи періоди інтенсивного використання деревних ресурсів.

Таблиця 3.5

**Розподіл площ ялинових деревостанів Вигодського надлісництва
різного походження за групами віку, га**

Група віку	Походження		Загальна площа
	насіenne природне	насіenne штучне	
Молодняки	1229,3	7352,8	8582,1
Середньовікові	4350,8	13552,4	17903,2
Пристиглі	3921,8	2723,3	6645,1
Стиглі	3185,5	1631,1	4816,6
Перестиглі	1132,4	392,9	1525,3
Разом	13819,8	25652,5	39472,3

Загальна площа ялинових деревостанів Вигодського надлісництва становить понад 39,4 тис. га, з яких 13,8 тис. га припадає на насадження природного походження та 25,6 тис. га – на штучно створені. Найбільшу частку серед них займають середньовікові насадження, площа яких становить 17,9 тис. га (понад 45 % загальної площі). Це свідчить про переважання деревостанів, що перебувають у фазі активного росту та мають найвищу продуктивність і здатність до накопичення вуглецю.

Високу частку також становлять пристиглі насадження – 6,6 тис. га, які поступово переходять у стиглу фазу розвитку. Такі ліси характеризуються значним запасом деревини та стабільною структурою, що забезпечує високу екологічну ефективність. Стиглі насадження займають 4,8 тис. га, формуючи важливий резерв стиглої деревини та відіграють ключову роль у накопиченні та зберіганні вуглецю.

Молодняки, що охоплюють близько 8,5 тис. га, становлять близько 22 % площі ялинників. Вони забезпечують відновлення лісів після рубок і природного всихання. Водночас частка перестійних насаджень є порівняно невеликою – 1,5 тис. га (близько 4 %). Такі ліси мають важливе значення для підтримання біорізноманіття, але з точки зору вуглецевого циклу характеризуються зменшенням приросту вуглецю через зниження темпів росту.

Серед походження домінують штучні середньовікові насадження (понад 13,5 тис. га), що підкреслює масштабність створення ялинових культур у минулі десятиліття. Проте природні ялинники також займають вагомую площу, особливо у вікових групах пристиглих і стиглих лісів, що свідчить про збереження природних екосистем і їх стабільну участь у формуванні лісового покриву надлісництва.

Таким чином, вікова структура ялинових лісів Вигодського надлісництва є збалансованою, із переважанням середньовікових насаджень. Це створює сприятливі передумови для високої вуглецедепонувальної активності лісових екосистем, що відіграють важливу роль у регулюванні вуглецевого балансу Карпатського регіону.

Для комплексної характеристики продуктивності ялинових насаджень Вигодського надлісництва проведено розподіл запасів деревини за групами віку (табл. 3.6). Даний показник є важливим для оцінки потенціалу лісів щодо нагромадження фітомаси, визначення етапів максимального приросту та встановлення їхнього внеску у формування загального вуглецевого фонду території.

Таблиця 3.6

Розподіл запасів ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за групами віку, тис. м³

Група віку	Походження		Загальний запас
	насінне природне	насінне штучне	
Молодняки	80,97	867,55	948,52
Середньовікові	1682,86	5417,21	7100,07
Пристиглі	1572,11	1099,16	2671,27
Стиглі	1300,88	734,16	2035,04
Перестиглі	467,22	205,38	672,60
Разом	5104,04	8323,46	13427,50

Загальний запас деревини ялинових насаджень у межах надлісництва становить 13,4 млн м³, з яких 5,1 млн м³ припадає на природні насадження та 8,3 млн м³ – на штучні. Найбільший обсяг запасів акумулюють середньовікові деревостани, у яких зосереджено 7,1 млн м³ деревини, тобто близько 53 % від загального запасу. Це свідчить про домінування лісів у фазі інтенсивного росту, коли відбувається найактивніше накопичення біомаси та вуглецю.

Значна частка запасів припадає також на пристиглі та стиглі насадження – 2,6 млн м³ і 2,0 млн м³ відповідно. Ці вікові групи відіграють особливо важливу роль у підтриманні вуглецевого балансу, адже характеризуються великим запасом деревини та стабільною структурою насаджень.

Молодняки, попри відносно невелику частку у загальному запасі (0,9 млн м³), мають важливе значення для довгострокової стійкості лісів, адже саме вони

є основою майбутніх вуглецедепонувальних резервів. У свою чергу, перестійні насадження, запас яких становить близько 0,7 млн м³, є найменш чисельною групою. Вони часто характеризуються зниженням темпів приросту, однак відіграють важливу роль у збереженні біорізноманіття.

За походженням найбільші обсяги запасів притаманні штучним середньовіковим насадженням (5,4 млн м³), що підтверджує їх високу продуктивність та ефективність лісовідновних заходів, проведених у минулі роки. Природні ліси, натомість, мають більш рівномірний розподіл запасів між віковими групами, що свідчить про їх стабільний стан і природну динаміку розвитку.

У цілому, структура запасів за віком відображає збалансований стан ялинових насаджень Вигодського надлісництва. Переважання середньовікових і пристиглих лісів свідчить про високий рівень їхньої продуктивності, а також про значний потенціал у забезпеченні вуглецедепонувальної функції регіону.

Важливою складовою характеристики ялинових лісів є їх розподіл за типами лісорослинних умов (ТЛУ) (табл. 3.7), які визначають ріст, продуктивність та екологічну стабільність деревостанів. Тип лісорослинних умов формується під впливом комплексу ґрунтово – гідрологічних і кліматичних факторів, що зумовлюють різницю у запасі деревини, складі порід, віковій структурі та вуглецедепонувальній здатності.

Таблиця 3.7

Розподіл площ ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за типами лісорослинних умову, га

ТЛУ	Походження		Загальна площа
	насінне природне	насінне штучне	
<i>A</i> ₃	23,5	0,0	23,5
<i>B</i> ₂	3,9	4,4	8,3
<i>B</i> ₃	1450,6	238,2	1688,8
<i>B</i> ₄	33,0	0,0	33,0
<i>C</i> ₂	57,2	149,8	207,0

Продовження табл. 3.7

ТЛУ	Походження		Загальна площа
	насінне природне	насінне штучне	
C_3	11352,6	22203,0	33555,6
C_4	135,6	97,3	232,9
D_3	750,5	2953,0	3703,5
D_4	12,9	6,8	19,7
Разом	13819,8	25652,5	39472,3

Загальна площа ялинових насаджень Вигодського надлісництва становить 39,4 тис. га, з яких 13,8 тис. га припадає на природні ліси та 25,6 тис. га – на штучні. Найбільші площі зосереджені в межах типів лісорослинних умов C_3 (вологі сугруди) – 33,5 тис. га, що становить понад 85 % від загальної площі ялинників. Суттєві площі також займають деревостани типів D_3 (вологі груди) – 3,7 тис. га та B_3 (вологі субори) – 1,7 тис. га. Такі умови сприяють формуванню високобонітетних ялинників, здатних накопичувати значні запаси біомаси та вуглецю.

Натомість частка площ, зайнятих деревостанами у типах A_3 , B_2 , B_4 , C_2 , C_4 і D_4 , є незначною (понад 1 % загальної площі). Це здебільшого ділянки з гіршими умовами росту – надмірним перезволоженням або, навпаки, відносно сухими ґрунтами, що обмежує продуктивність ялини.

Серед насаджень різного походження переважають штучно створені ліси у межах типу C_3 , площа яких становить 22,2 тис. га, тоді як природні ялинники цього типу охоплюють 11,3 тис. га. Такий розподіл свідчить про активну лісокультурну діяльність, спрямовану на заліснення оптимальних для ялини ділянок.

Таким чином, аналіз розподілу площ ялинових деревостанів за типами лісорослинних умов показує, що переважна більшість лісів зосереджена в оптимальних екологічних нішах ялини європейської. Це забезпечує високу продуктивність, добру стійкість і значну вуглецедепонувальну здатність

ялиників Вигодського надлісництва. Домінування свіжих і вологих типів лісорослинних умов свідчить про сприятливі природно–кліматичні передумови для розвитку високопродуктивних лісових екосистем у регіоні.

Для уточнення продуктивності ялинових насаджень Вигодського надлісництва проведено розподіл запасів деревини за типами лісорослинних умов, що дає змогу оцінити залежність обсягів нагромадження фітомаси від природно–екологічних факторів (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Розподіл запасів ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за типами лісорослинних умов, тис. м³

ТЛУ	Походження		Загальний запас
	насіenne природне	насіenne штучне	
<i>A</i> ₃	0,59	0,00	0,59
<i>B</i> ₂	0,40	0,12	0,52
<i>B</i> ₃	455,27	64,64	519,91
<i>B</i> ₄	8,45	0,00	8,45
<i>C</i> ₂	18,29	28,11	46,40
<i>C</i> ₃	4298,38	6945,82	11244,20
<i>C</i> ₄	29,76	19,71	49,47
<i>D</i> ₃	290,81	1263,33	1554,14
<i>D</i> ₄	2,08	1,73	3,81
<i>Разом</i>	5104,04	8323,46	13427,50

Загальний запас деревини ялинових насаджень у межах надлісництва становить 13,4 млн м³, з яких 5,1 млн м³ припадає на природні ліси та 8,3 млн м³ – на штучно створені. Аналіз показує, що основний обсяг запасів зосереджений у межах типу лісорослинних умов *C*₃ (вологі сугруди) – 11,2 млн м³, що становить близько 84 % загального запасу ялиників. Високі показники запасу спостерігаються також у типах *D*₃ (вологі груди) – 1,5 млн м³ та *B*₃ (вологі субори) – 0,5 млн м³. Такі ділянки вирізняються підвищеним рівнем продуктивності та мають важливе значення для вуглецевого балансу території.

Менші обсяги запасів фіксуються у деревостанах типів A_3 , B_2 , B_4 , C_2 , C_4 і D_4 , де сукупно зосереджено лише приблизно 1 % загального запасу. Це переважно ліси на ділянках із гіршими лісорослинними умовами, де надмірне перезволоження або, навпаки, дефіцит вологи обмежують інтенсивність росту дерев.

За походженням найбільший запас деревини властивий штучним ялиникам типу C_3 – 6,9 млн м³, тоді як природні ліси цього ж типу акумулюють 4,3 млн м³. Такий розподіл свідчить про значну ефективність штучного лісовідновлення у межах найсприятливіших типів умов, що забезпечує високу економічну та екологічну віддачу.

Отже, структура запасів за типами лісорослинних умов чітко демонструє переважання високопродуктивних ялиників у вологих сугрудах, які мають найвищу вуглецедепонувальну здатність.

Для характеристики просторового розміщення ялинових насаджень та оцінки впливу орографічних факторів на їх продуктивність проведено розподіл площ ялинових деревостанів за експозицією схилу (табл. 3.9). Відомо, що експозиція схилу істотно впливає на мікрокліматичні умови – температуру, зволоження, освітленість і, відповідно, на інтенсивність росту ялини, її біологічну стійкість і вуглецедепонувальний потенціал.

Таблиця 3.9

Розподіл площ ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за експозицією схилу, га

Експозиція схилу	Походження		Загальна площа
	насінне природне	насінне штучне	
Північна	1446,8	2818,7	4265,5
Північно–східна	2578,2	4149,9	6728,1
Східна	1246,6	1357,8	2604,4
Південно–східна	1870,0	3372,3	5242,3
Південна	1057,1	2328,2	3385,3

Продовження табл. 3.9

Експозиція схилу	Походження		Експозиція схилу
	насіenne природне	насіenne штучне	
Південно–західна	3033,5	5483,6	8517,1
Західна	792,2	1834,5	2626,7
Північно–західна	1795,4	4307,5	6102,9
Разом	13819,8	25652,5	39472,3

Загальна площа ялинових насаджень у межах Вигодського надлісництва становить 39,4 тис. га, з яких 13,8 тис. га мають природне насінне походження, а 25,6 тис. га – штучне. Найбільші площі ялинників приурочені до південно–західних схилів – 8,5 тис. га, що становить понад 21 % загальної площі. Значні площі також зосереджені на північно–західних (6,1 тис. га), північно–східних (6,7 тис. га) та південно–східних (5,2 тис. га) експозиціях. На північних схилах, де площа становить 4,2 тис. га, переважають штучне насадження, які формують стабільні та тіншовитривалі угруповання. Менші площі займають ліси західної (2,6 тис. га) та східної (2,6 тис. га) експозицій. Водночас південні схили (3,3 тис. га) характеризуються відносно меншою зволоженістю, тому тут ялина має нижчі темпи росту.

Щодо походження, то більшість площ, незалежно від експозиції, займають штучно створені насадження – особливо на південно–західних та північно–західних схилах, де їхня сумарна площа перевищує 9,7 тис. га. Це свідчить про цілеспрямовану діяльність щодо заліснення гірських територій із помірно вологими умовами.

Таким чином, розподіл ялинових лісів Вигодського надлісництва за експозицією схилів свідчить про пристосованість ялини до різноманітних орографічних умов, з переважанням високопродуктивних насаджень на південно–західних і північно–західних схилах.

Для з'ясування просторової закономірності розподілу біомаси та запасів деревини ялинових насаджень проведено розподіл за експозицією схилу (табл. 3.10). Цей показник має важливе значення, оскільки впливає на умови

зволоження, освітлення, температурний режим і, відповідно, на темпи росту та формування запасів деревини, що визначають потенціал депонування вуглецю.

Таблиця 3.10

Розподіл запасів ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за експозицією схилу, тис. м³

Експозиція схилу	Походження		Загальний запас
	насіenne природне	насіenne штучне	
Північна	559,45	921,44	1480,89
Північно–східна	984,24	1380,60	2364,85
Східна	424,24	449,00	873,24
Південно–східна	695,14	1044,87	1740,01
Південна	386,72	743,08	1129,80
Південно–західна	1135,82	1864,08	2999,91
Західна	260,90	608,45	869,35
Північно–західна	657,50	1311,93	1969,43
Разом	5104,04	8323,46	13427,50

Загальний запас деревини ялинових насаджень Вигодського надлісництва становить 13,4 млн м³, із яких 5,1 млн м³ припадає на природні ліси, а 8,3 млн м³ – на штучно створені. Найбільші запаси зосереджені на південно–західних схилах – близько 3,0 млн м³, що становить понад 22 % загального запасу. Високі запаси також спостерігаються на північно–західних (близько 2,0 млн м³) та північно–східних (2,4 млн м³) схилах. Деяко менші, але все ще значні показники запасу характерні для південно–східних (1,7 млн м³) та південних (1,1 млн м³) експозицій. Це свідчить про те, що ялина добре адаптується до різних орографічних умов, зберігаючи стабільну продуктивність.

Найнижчі запаси виявлено на західних (менше 0,9 млн м³) та східних (менше 0,9 млн м³) експозиціях, що пов'язано з локальними особливостями рельєфу та меншою площею таких ділянок. За походженням переважають штучні насадження, запас яких становить близько 62 % у більшості експозицій,

особливо на південно–західних та північно–західних схилах, що підтверджує цілеспрямоване створення культур у зонах із найкращими умовами росту.

Отже, аналіз розподілу запасів за експозицією схилу свідчить, що найбільш продуктивними є ялинники південно–західної, північно–західної та північно–східної експозицій, де поєднання природно–кліматичних і орографічних чинників створює оптимальні умови для росту ялини.

3.2. Оцінювання обсягів всихання ялинових насаджень у Вигодському надлісництві

Процес всихання ялинових насаджень є одним із найгостріших екологічних викликів, що впливають на стабільність лісових екосистем [49]. Масове ослаблення і відмирання ялини європейської спостерігається впродовж останніх років і має тенденцію до зростання. Основними причинами цього явища виступають зміни кліматичних. Значний вплив мають і попередні господарські практики, зокрема створення монокультур у невідповідних для ялини типах лісорослинних умов.

Для кількісного оцінювання масштабів деградаційних процесів використано матеріали виробничої звітності Вигодського надлісництва. У таблиці 3.11 наведено основні показники, що характеризують сучасний стан лісового фонду підприємства та обсяги всихання деревостанів ялини.

Таблиця 3.11

Основні показники стану лісового фонду та пошкодження ялинників Вигодського надлісництва

Показник	Одиниця виміру	Значення
Загальна площа земель лісового фонду	га	59928,3
Площа, вкрита лісовою рослинністю	га	54182,0
Площа пошкодження на 01.01.2025 р.	га	1502,1
Площа пошкодження за останні 6 місяців	га	528,6

Продовження табл. 3.11

Показник	Одиниця виміру	Значення
Площа пошкодження станом на 01.07.2025 р.	га	2030,7
Насадження ялини європейської з ознаками пошкодження	га	1764,6
Загальний обсяг пошкодженої деревини ялини європейської	м ³	289489

Загальна площа земель лісового фонду становить 59,9 тис. га, з яких близько 54,2 тис. га вкрито лісовою рослинністю. Це свідчить про високий рівень лісистості території, характерний для гірської частини Українських Карпат. Проте станом на 1 січня 2025 року зафіксовано 1,5 тис.га ділянок із ознаками пошкодження, а вже за наступні шість місяців площа деградації збільшилася ще на 528,6 га, що є свідченням динамічного поширення цього процесу. Станом на 1 липня 2025 року загальна площа пошкодження досягла понад 2,0 тис. га, або понад 3,7 % площі вкритих лісовою рослинністю ділянок.

Найбільш уразливою виявилася саме ялина європейська, площа пошкодження якої становить понад 1,7 тис. га, що дорівнює близько 87 % від загального обсягу деградованих насаджень. Загальний обсяг всохлої деревини ялини європейської оцінюється близько 289,5 тис. м³, що становить вагомі потенційні втрати як з економічної, так і з екологічної точки зору. Втрата такого обсягу біомаси безпосередньо впливає на зменшення вуглецедепонувальної здатності лісів.

Таким чином, отримані дані засвідчують інтенсивне поширення процесів всихання, що вимагає реалізації системних лісогосподарських заходів. Насамперед це проведення вибіркових і суцільних санітарних рубок, своєчасне видалення ослаблених дерев, моніторинг фітопатологічного стану насаджень, а також поступове переведення монокультурних ялиників у змішані стійкі деревостани.

У межах проведеного дослідження було визначено площі всихання ялинових насаджень Вигодського надлісництва залежно від типів лісорослинних

умов та походження деревостанів. Узагальнена характеристика наведена у табл. 3.12, з якої видно, що найбільші площі всихання припадають на типи лісу C_3 та D_3 , де домінують штучно створені культури. Зокрема, у межах типу C_3 зафіксовано 1374,0 га штучних та 368,0 га природних ялинників, що формує найбільший показник серед усіх категорій – 1742,0 га. Значні площі деградованих деревостанів характерні й для умов D_3 , де загальна площа всихання становить 240,1 га, з яких 207,0 га – штучні насадження.

Таблиця 3.12

Розподіл площ всихання ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження за типами лісорослинних умову, га

ТЛУ	Походження		Загальна площа
	насіenne природне	насіenne штучне	
B_3	21,4	5,5	26,9
C_3	368,0	1374,0	1742,0
C_4	14,0	7,7	21,7
D_3	33,1	207,0	240,1
Разом	436,5	1594,2	2030,7

Порівняно менші, проте все ж помітні площі всихання спостерігаються у типах B_3 та C_4 – 26,9 га та 21,7 га відповідно. Для всіх типів лісу простежується однакова закономірність – домінування площ штучного походження над природним, що підтверджує їх нижчу стійкість до абіотичних і біотичних чинників. У підсумку загальна площа пошкоджених ялинників у досліджуваному надлісництві становить 2030,7 га, з яких понад 78 % припадає на штучно створені насадження. Це свідчить про необхідність перегляду підходів до лісовідновлення та ведення ялинових культур у Карпатському регіоні, зокрема з акцентом на підвищення стійкості деревостанів та адаптивне лісівництво.

Дослідження просторових закономірностей всихання ялинових насаджень у межах Вигодського надлісництва показало чітку залежність масштабів

пошкоджень від висотного діапазону місцевості. Узагальнені результати наведено в табл. 3.13, де відображено розподіл площ деградованих насаджень за висотними групами над рівнем моря з урахуванням їхнього походження.

Таблиця 3.13

Розподіл площ всихання ялинових деревостанів Вигодського надлісництва різного походження залежно від висоти над рівнем моря, га

Група висот над рівнем моря, м	Походження		Загальна площа
	насіenne природне	насіenne штучне	
до 800	115,3	339,5	454,8
801–1000	212,5	1021,1	1233,6
1001–1200	83,2	223,0	306,2
понад 1200	25,5	10,6	36,1
Разом	436,5	1594,2	2030,7

Найбільші площі деградованих насаджень зосереджені в інтервалі 801–1000 м, де зафіксовано 1233,6 га всихання, з яких 1021,1 га припадає на штучні деревостани. Значні масштаби всихання простежуються також на висотах до 800 м, де загальна площа пошкоджених лісів становить 454,8 га. Натомість у верхніх висотних поясах (понад 1200 м) спостерігається мінімальний обсяг деградації – лише 36,1 га, що становить менше 2 % від загальної площі всихання в межах надлісництва.

Загальна закономірність полягає в тому, що на всіх висотних рівнях переважають площі всихання штучного походження, що ще раз підкреслює їх нижчу адаптивність до екстремальних кліматичних умов гірського середовища. Сукупна площа всихання, як і в попередньому розрізі, становить 2030,7 га, що підтверджує узгодженість даних і дозволяє робити подальші висновки щодо впливу висотного фактору на стійкість ялиників Карпат.

У межах проведеного дослідження з метою детальнішого оцінювання просторового поширення та інтенсивності процесів всихання ялинових насаджень було проаналізовано чотири ділянки. Вони репрезентують типові умови росту смерекових лісів і різний ступінь деградаційних проявів. Зокрема,

дві ділянки були відведені під проведення суцільних санітарних рубок, а дві інші – під вибіркові санітарні рубки. Такий підхід дав змогу зіставити особливості структури, запасу та біопродуктивності насаджень у різних стадіях деградації, а також визначити орієнтовні втрати вуглецедепонувальної здатності залежно від типу санітарного втручання.

Для проведення кількісного оцінювання ступеня пошкодження ялинових насаджень було проаналізовано таксаційні показники ділянки експлуатаційних лісів віком 72 роки, загальною площею 1,0 га, на якій заплановано проведення суцільної санітарної рубки (табл. 3.14). Проведений аналіз дозволив визначити основні параметри деревостанів, які зазнали значного погіршення санітарного стану внаслідок всихання ялини європейської.

Таблиця 3.14

**Таксаційні показники деревостану на дослідній ділянці № 1
(суцільна санітарна рубка)**

Показник	Порода				Разом
	ялина	бук	береза	ялиця	
Кількість дерев, шт.	1 007,0	12,0	47,0	4,0	1 070,0
Середній об'єм дерева, м ³	0,46	0,24	0,38	0,82	0,48
Загальний запас, м ³	406,5	2,9	18,0	3,3	430,6
Діловий запас, м ³	123,0	0,0	0,0	0,8	123,8
Дров'яна деревина, м ³	216,0	2,4	16,2	2,0	236,5
Неліквідна деревина, м ³	57,2	0,5	1,8	0,4	59,9

У породному складі насадження переважає ялина, частка якої становить понад 94 % від загальної кількості дерев. Супутні породи – бук, береза та ялиця – трапляються поодинокі і не мають суттєвого впливу на загальні структурні характеристики деревостану. Загальна кількість дерев становить 1070 шт., а середній об'єм одного дерева – 0,48 м³.

Загальний запас деревини сягає 430,6 м³, з яких 123,8 м³ припадає на ділову деревину, 236,5 м³ – на дров'яну та 59,9 м³ – на неліквідну. Помітна частка низькоякісної деревини є показником погіршення стану насадження та

підтверджує доцільність проведення санітарних заходів. Зменшення частки ділової деревини відносно загального запасу відображає наслідки тривалого впливу біотичних і кліматичних чинників, що призвели до зниження життєздатності дерев.

Отже, аналіз отриманих показників дозволяє зробити висновок, що ділянка характеризується високим рівнем всихання ялини, значним обсягом дров'яної та неліквідної деревини, а також потребує своєчасного проведення санітарних рубок з метою стабілізації санітарного стану прилеглих насаджень.

Наступним об'єктом дослідження є ділянка рекреаційно – оздоровчих лісів віком 72 роки, загальною площею 0,7 га, на якій заплановано проведення суцільної санітарної рубки (табл. 3.15). Вибір саме такого виду рубки зумовлений значним пошкодженням деревостанів унаслідок масового всихання ялини європейської, що призвело до втрати стабільності насадження та зниження його рекреаційної цінності.

Таблиця 3.15

**Таксаційні показники деревостану на дослідній ділянці № 2
(суцільна санітарна рубка)**

Показник	Порода				Разом
	ялина	береза	бук	ялиця	
Кількість дерев, шт.	402,0	66,0	14,0	14,0	496,0
Середній об'єм дерева, м ³	0,37	0,36	0,20	0,17	0,28
Загальний запас, м ³	134,0	22,0	2,6	2,4	161,0
Діловий запас, м ³	15,4	0,0	0,0	0,7	16,1
Дров'яна деревина, м ³	98,1	19,6	2,1	1,3	121,2
Неліквідна деревина, м ³	19,3	2,3	0,4	0,4	22,4

Переважаючою породою на ділянці є ялина, частка якої становить понад 81 % від загальної кількості дерев. У складі також трапляються береза, бук і ялиця, однак їх участь незначна. Загальна кількість дерев становить 496 шт., а середній об'єм одного дерева дорівнює 0,28 м³. Загальний запас деревини сягає 161,0 м³, з яких 121,2 м³ припадає на дров'яну, 22,4 м³ – на неліквідну, та 16,1 –

на ділову. Така структура запасів свідчить про глибоке ослаблення деревостану та його непридатність.

Переважаюча дров'яної деревини свідчить про те, що насадження перебуває у стані глибокої деградації, спричиненої біотичними та абіотичними факторами. Наявність значної частки неліквідної деревини додатково підтверджує процеси усихання. Проведення суцільної санітарної рубки на таких площах є необхідним заходом для запобігання подальшому поширенню осередків усихання та відновлення рекреаційних функцій лісу.

Третім об'єктом дослідження є ділянка експлуатаційних лісів віком 72 роки, площею 3,9 га, на якій заплановано проведення вибірково – санітарної рубки (табл. 3.16). Такий захід передбачає поступове видалення всихаючих і пошкоджених дерев для покращення санітарного стану насадження та збереження стійкої частини деревостану, що має господарське та екологічне значення.

Таблиця 3.16

**Таксаційні показники деревостану на дослідній ділянці № 3
(вибірково санітарна рубка)**

Показник	Порода					Разом
	ялина	ялиця	бук	явір	береза	
Кількість дерев, шт.	1861,0	61,0	103,0	8,0	34,0	2067,0
Середній об'єм дерева, м ³	0,54	0,51	0,01	0,00	0,34	0,28
Загальний запас, м ³	967,8	31,1	10,1	0,5	11,4	1020,9
Діловий запас, м ³	317,7	10,2	0,0	0,0	0,0	327,9
Дров'яна деревина, м ³	492,9	16,2	8,3	0,4	10,4	528,2
Неліквідна деревина, м ³	131,8	3,8	1,8	0,1	1,0	138,5

На цій ділянці домінує ялина європейська, частка якої становить понад 90 % від загальної кількості дерев. Супутні породи – ялиця, бук, явір і береза – представлені в незначній кількості. Загальна кількість дерев становить 2067 шт., при середньому об'ємі 0,28 м³ на одне дерево.

Загальний запас деревини оцінюється у 1020,9 м³, із яких 327,9 м³ припадає на ділову деревину, 528,2 м³ – на дров'яну, а 138,5 м³ становить неліквідна деревина. Таке співвідношення свідчить, що близько третини запасу мають комерційну цінність, тоді як решта представлена деревиною нижчих сортиментів. Порівняно з ділянками, призначеними під суцільні санітарні рубки, тут спостерігається вища частка ділової деревини, що свідчить про кращий санітарний стан деревостану та доцільність застосування вибіркової рубки.

Останньою об'єктом дослідження стала ділянка захисних лісів віком 67 років, площею 2,1 га, на якій передбачено проведення вибірково – санітарної рубки (табл. 3.17). Основною метою даного заходу є покращення санітарного стану насадження, підтримання його стійкості та збереження захисних функцій лісу, які мають важливе значення для регулювання водного режиму і запобігання ерозійним процесам.

Таблиця 3.17

**Таксаційні показники деревостану на дослідній ділянці № 4
(вибіркова санітарна рубка)**

Показник	Порода			Разом
	ялина	горобина	береза	
Кількість дерев, шт,	338,0	2,0	85,0	425,0
Середній об'єм дерева, м ³	0,55	0,14	0,37	0,35
Загальний запас, м ³	171,0	0,3	31,1	202,4
Діловий запас, м ³	57,6	0,0	0,0	57,6
Дров'яна деревина, м ³	86,2	0,2	27,9	114,4
Неліквідна деревина, м ³	22,9	0,0	3,2	26,1

На ділянці переважає ялина європейська, яка становить понад 79 % від загальної кількості дерев. Супутні породи – береза та горобина – представлені поодинокі, формуючи незначну домішку у складі деревостану. Загальна кількість дерев становить 425 шт., з середнім об'ємом одного дерева – 0,35 м³.

Загальний запас деревини оцінюється у 202,37 м³, з яких 57,6 м³ припадає на ділову деревину, 114,4 м³ – на дров'яну, а 26,1 м³ – на неліквідну. Висока частка дров'яної деревини свідчить про певне ослаблення деревостану.

Отримані результати вказують на те, що санітарний стан даної ділянки є відносно стабільним, проте виявлені прояви всихання ялини потребують своєчасного втручання. Проведення вибіркової санітарної рубки дозволить усунути ослаблені дерева, зберегти біостійку частину насадження та забезпечити його подальше природне відновлення без суттєвих порушень захисних функцій лісу.

3.3 Кількісна оцінка негативного регіонального впливу всихання ялинових насаджень на їхню вуглецедепонувальну здатність

Всихання ялинових насаджень у Карпатському регіоні останніми десятиліттями набуло масштабного характеру, що призводить не лише до втрат деревини та погіршення екологічного стану лісових екосистем, а й до зниження їхньої вуглецедепонувальної функції [46]. Вуглецевий баланс лісів є одним із ключових показників їх екосистемної ефективності, адже саме здатність лісів акумулювати та утримувати вуглець у біомасі визначає їхній внесок у глобальні процеси пом'якшення змін клімату.

Під впливом деградаційних процесів, спричинених комбінацією кліматичних, біотичних і антропогенних чинників, спостерігається значне скорочення запасів живої фітомаси, що безпосередньо зменшує обсяги депонованого вуглецю. Водночас унаслідок розкладання відмерлої деревини підвищується рівень викидів вуглекислого газу в атмосферу, що додатково поглиблює негативний кліматичний ефект.

Метою цього підпункту є кількісна оцінка втрат вуглецю внаслідок всихання ялинових насаджень у межах досліджуваної території, а також визначення регіонального масштабу впливу цього процесу на загальну

вугледепонувальну здатність лісів. Оцінювання базується на зіставленні фактичних показників запасів вуглецю у здорових та пошкоджених деревостанах, що дає змогу встановити рівень втрат та прогнозувати подальші зміни у структурі вуглецевого балансу регіону.

У контексті оцінювання втрат вуглецю одним із ключових параметрів виступає потенційна вугледепонувальна здатність здорових ялинових деревостанів, яка істотно залежить від бонітету та віку насаджень. Зіставлення цих показників дає змогу визначити, який обсяг вуглецю могли б акумулювати деревостани за відсутності деградаційних процесів. Узагальнені дані наведено у таблиці 3.18, де відображено середні показники річного депонування вуглецю природними ялиновими насадженнями Українських Карпат залежно від класу бонітету та середнього віку деревостану [3].

Таблиця 3.18

**Середня вугледепонувальна здатність природних ялинових
деревостанів Українських Карпат, $t \cdot (га)^{-1} \cdot (рік)^{-1}$**

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
I ^a	1,94	1,95	1,92
I	1,64	1,66	1,64
II	1,35	1,37	1,36
III	1,06	1,09	1,08
IV	0,79	0,81	0,81

Найвищі темпи депонування вуглецю характерні для насаджень I^a та I класів бонітету, де показники сягають від 1,64 до 1,95 $t \cdot (га)^{-1} \cdot (рік)^{-1}$ у віці 50–70 років. Із погіршенням бонітету спостерігається закономірне зниження вугледепонувальної здатності: деревостани II класу акумулюють у середньому 1,35–1,37 $t \cdot (га)^{-1} \cdot (рік)^{-1}$, III класу – близько 1,06–1,09 $t \cdot (га)^{-1} \cdot (рік)^{-1}$, тоді як насадження IV класу бонітету коливається між 0,79–0,81 $t \cdot (га)^{-1} \cdot (рік)^{-1}$.

Отже, бонітет є визначальним показником, що обумовлює продуктивність угруповань та їхній внесок у вуглецевий баланс. В умовах всихання насамперед

втрачається потенціал високобонітетних насаджень, що спричиняє непропорційно великі регіональні втрати депонованого вуглецю навіть за відносно меншої площі їхнього пошкодження. На наступному етапі оцінювання (у подальших таблицях) здійснюється кількісне визначення цих втрат з урахуванням фактичних площ всихання ялинових лісів досліджуваного надлісництва.

Для об'єктивної оцінки втрат вуглецю важливо враховувати не лише природні, а й штучно створені ялинники, частка яких у структурі лісів Карпат є значною. Їхній внесок у вуглецевий баланс традиційно оцінюється як нижчий у порівнянні з природними насадженнями, що пов'язано з особливостями ґрунтових умов, щільності культур, стійкості деревостанів та їхньої здатності протистояти екологічним стресорам. Узагальнені показники середньої вуглецедепонуальної здатності штучних ялинників наведено у таблиці 3.19, де простежуються закономірності залежності цього показника від класу бонітету та віку насаджень.

Таблиця 3.19

**Середня вуглецедепонуальна здатність штучних ялинових
деревостанів Українських Карпат, $t \cdot (га)^{-1} \cdot (рік)^{-1}$**

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
I ^a	1,90	1,95	1,93
I	1,62	1,67	1,66
II	1,33	1,38	1,38
III	1,05	1,10	1,10
IV	0,82	0,82	0,81

Максимальні показники депонування вуглецю, так само як і у природних насадженнях, характерні для I^a та I класів бонітету, мають значення досягати від 1,62 до 1,95 $t \cdot (га)^{-1} \cdot (рік)^{-1}$ у віці 50–70 років. Однак у порівнянні з природними насадженнями різниця є помітною. У насаджень II та III класів бонітету середня

здатність поглинання вуглецю знижується і становить $1,05-1,38 \text{ т} \cdot (\text{га})^{-1} \cdot (\text{рік})^{-1}$, тоді як для IV класу вона є найнижчою і не перевищує $0,81-0,82 \text{ т} \cdot (\text{га})^{-1} \cdot (\text{рік})^{-1}$.

Отримані результати підтверджують, що в умовах масового всихання в першу чергу втрачається високопродуктивний потенціал культур штучного походження, які займають значні площі в Карпатському регіоні та характеризуються меншою стійкістю порівняно з природними деревостанами. Це означає, що регіональні втрати депонованого вуглецю є більшими, ніж можна було б очікувати, виходячи лише з площі всихання, – насамперед через деградацію найпродуктивніших лісових ділянок.

Щоб визначити реальні масштаби втрат вуглецю, важливо врахувати фактичну площу пошкоджених насаджень у межах досліджуваної території. У таблиці 3.20 наведено розподіл площ всихання природних ялиників за класами бонітету та віковими групами. Такий підхід дає змогу не лише оцінити інтенсивність деградаційних процесів у різних типах деревостанів, а й надалі інтегрувати ці площі в розрахунки недоотриманого обсягу депонованого вуглецю.

Таблиця 3.20

Площа пошкоджених природних ялинових деревостанів Вигодського надлісництва, га

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
I ^a	26,4	55,1	35,1
I	37,6	70,4	153,5
II	7,7	18,7	16,7
III	2,1	2,2	7,2
IV	0,0	0,0	3,8
Разом	73,9	146,4	216,2

Найбільші площі всихання характерні для високобонітетних деревостанів. Зокрема, серед природних ялиників вікової групи 70 років найбільшу частку займають насадження I класу бонітету (153,5 га) та I^a класу (35,1 га), що свідчить

про втрату найбільш продуктивних насаджень. У віці 60 років спостерігається аналогічна тенденція – площа пошкоджених деревостанів I та I^a класів бонітету становить 70,4 га та 55,1 га відповідно. Значно менші площі деградації зафіксовані у насадженнях II та III класів (від 2,1 до 18,7 га), тоді як IV клас бонітету вражений мінімально.

Характерною особливістю є те, що процес всихання природних ялиників має виражену вибірковість, уражаючи насамперед найбільш продуктивні та цінні з погляду вугледепонувального потенціалу деревостани. Це означає, що подальші втрати вуглецю від деградації цих насаджень є непропорційно високими, оскільки навіть незначне за площею всихання у високобонітетних ялиниках дає значно більший відгук у загальному вуглецевому балансі регіону.

Для встановлення фактичних масштабів деградації було визначено площі всихання штучних ялинових деревостанів, які становлять суттєву частку у лісовому фонді Вигодського надлісництва. Узагальнені результати подано у таблиці 3.21, де відображено розподіл пошкоджених насаджень за класами бонітету та віковими групами, що дає можливість простежити особливості прояву всихання у культурах різної продуктивності.

Таблиця 3.21

Площа пошкоджених штучних ялинових деревостанів Вигодського надлісництва, га

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
I ^a	374,7	266,1	13,4
I	503,0	236,2	109,3
II	36,4	37,6	10,5
III	5,1	1,8	0,0
IV	0,0	0,0	0,0
Разом	919,2	541,7	133,2

З наведених даних видно, що найбільших ушкоджень зазнають високобонітетні насадження I^a та I класів, на які припадає переважна частина

площі всихання. У віковій категорії 50 років найбільші обсяги пошкоджених площ зафіксовано саме у культурах найвищої продуктивності, де значення становлять 374,7 га та 503,0 га відповідно. У старших вікових групах площі пошкоджених насаджень поступово скорочуються.

Низькобонітетні ялинники (II–III класи) характеризуються порівняно невеликими площами усихання, величина яких не перевищує 37,6 га навіть у найбільш вразливій віковій групі. Водночас насадження IV класу бонітету практично не зазнали ушкоджень, що пов'язано з їхньою незначною площею.

Отже, найбільш відчутні втрати мають місце у штучних високопродуктивних культурах, які за нормальних умов формують основний внесок у депонування вуглецю. Втрата цих насаджень спричиняє значне скорочення вуглецевого потенціалу регіону, оскільки деградують саме ті лісові ділянки, які мають найвищу екосистему цінність і найбільшу інтенсивність акумуляції вуглецю.

Наступним етапом дослідження стало визначення обсягів щорічних втрат депонованого вуглецю у природних ялинових деревостанах, що зазнали всихання. Розрахунок здійснювався шляхом поєднання показників середньорічної вуглецедепонуальної здатності насаджень та площ їх деградації, що дозволило кількісно оцінити реальні втрати вуглецю, яких зазнає регіон унаслідок порушення стійкості ялинників. Узагальнені значення наведено у таблиці 3.22.

Таблиця 3.22

Річна втрата вугледепонуальної здатності природних ялинових деревостанів Вигодського надлісництва у результаті всихання, т

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
I ^a	51,2	107,5	67,4
I	61,7	116,9	251,7
II	10,4	25,6	22,7

Продовження табл. 3.22

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
III	2,3	2,4	7,8
IV	0,0	0,0	3,0
Разом	125,6	252,4	352,6

Отримані дані свідчать, що найбільші втрати вуглецю притаманні високобонітетним деревостанам I^a та I класів, які забезпечують основну частку вуглецевої акумуляції в регіоні. У віці 70 років річні втрати для I класу сягають 251,7 т, а для I^a – 67,4 т, що разом формує домінуючий внесок у загальний обсяг. Значно нижчі показники характерні для насаджень II та III класів, де значення не перевищують 25,6 т і 7,8 т відповідно. Втрата вуглецю у насадженнях IV класу є мінімальною або відсутня зовсім.

Загальна річна втрата вуглецевого потенціалу від всихання природних ялинників становить від 125,6 т у 50-річних деревостанах до 352,6 т у 70-річних. Така динаміка свідчить, що процес деградації найбільше б'є по найбільш продуктивних вікових і бонітетних групах, істотно знижуючи кліматорегулювальну роль лісів. В умовах зростання кліматичних ризиків та активізації біотичних чинників ці втрати можуть накопичуватися та посилювати регіональний вуглецевий дисбаланс.

Аналогічні розрахунки було виконано для штучних ялинових насаджень, які зазнали всихання на території Вигодського надлісництва. Результати визначення річних втрат вуглецю подано у таблиці 3.23, що відображає масштаби недоотриманого депонування вуглецю залежно від вікової групи та класу бонітету штучних ялинників.

Таблиця 3.23

**Річна втрата вугледепонувальної здатності штучних ялинових
деревостанів Вигодського надлісництва у результаті всихання, т**

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
I ^a	711,9	519,0	25,9
I	814,9	394,4	181,5
II	48,4	52,0	14,5
III	5,4	2,0	0,0
IV	0,0	0,0	0,0
Разом	1580,6	967,3	221,8

Згідно з наведеними даними, штучні насадження формують у кілька разів більші втрати вуглецю, ніж природні деревостани. У віковій групі 50 років сумарна річна втрата сягає 1580,6 т, що у понад 12 разів перевищує відповідний показник для природних насаджень. Найбільша частка втрат спостерігається у високобонітетних культурах I^a та I класів, де річне недоотримання депонованого вуглецю становить відповідно 711,9 т та 814,9 т.

У 60–річних штучних ялиниках загальні втрати зменшуються до 967,3 т, однак саме в цій віковій групі зберігається домінування пошкоджених насаджень найвищих бонітетів, що свідчить про критичну чутливість цих культур до деградаційних чинників. Найменші значення характерні для групи 70 років – 221,8 т, що пояснюється зменшенням площі пошкоджених насаджень у цьому віці.

Таким чином, штучні ялиники формують основну частину регіональних втрат депонованого вуглецю. Це пояснюється їх підвищеною чутливістю до дії кліматичних та біотичних чинників, що у поєднанні з інтенсивними процесами деградації зумовлює значні обсяги недоотриманого вуглецю в межах досліджуваної території. У результаті саме всихання штучних культур найвідчутніше послаблює вугледепонувальний потенціал ялинових лісів і знижує їхню роль у стабілізації кліматорегулювальних процесів у регіоні.

Для узагальнення отриманих результатів та визначення сумарного регіонального ефекту було обчислено загальні річні втрати вугледепонувальної здатності всіх ялинових насаджень, що зазнали всихання у межах Вигодського надлісництва. Інтегрований показник, який охоплює як природні, так і штучні деревостани різних класів бонітету, наведено у таблиці 3.24.

Таблиця 3.24

**Річна втрата вугледепонувальної здатності усіх ялинових деревостанів
Вигодського надлісництва у результаті всихання, т**

Клас бонітету	Середній вік насадження, років		
	50	60	70
I ^a	763,1	626,4	93,3
I	876,6	511,3	433,2
II	58,8	77,6	37,1
III	7,6	4,4	7,8
IV	0,0	0,0	3,0
Разом	1706,1	1219,6	574,4

Згідно з наведеними значеннями, максимальні річні втрати депонованого вуглецю спостерігаються у 50-річних насаджень, де вони сягають 1706,1 т, що є найвищим показником серед усіх оцінених вікових груп. У 60-річних ялинниках втрати зменшуються до 1219,6 т, а у 70-річних – до 574,4 т, що відображає загальну тенденцію до зниження площ всихання у старших вікових деревостанах. Водночас у структурі втрат переважають ялинники I^a та I класів бонітету, які відіграють ключову роль у вуглецевому балансі лісів та характеризуються найвищими темпами депонування вуглецю за нормального стану.

Отримані результати переконливо свідчать, що всихання ялинників у Вигодському надлісництві має суттєвий негативний регіональний ефект, оскільки істотно скорочує щорічний обсяг акумуляції CO₂ біомасою лісів. Це, у свою чергу, послаблює кліматорегулювальні функції ялинових екосистем і підсилює вразливість регіону до наслідків змін клімату.

Для оцінки довготривалих наслідків деградації ялинових насаджень було здійснено прогнозування сумарних втрат вугледепонувальної здатності до моменту досягнення ними віку головної рубки. Отримані результати, наведені у таблиці 3.25, відображають потенційний обсяг вуглецю, який лісові екосистеми регіону не зможуть акумулювати у майбутньому внаслідок вже розпочатих процесів всихання.

Таблиця 3.25

Сумарна прогнозна втрата вугледепонувальної здатності наявних ялинових деревостанів Вигодського надлісництва у результаті всихання до досягнення ними віку рубки головного користування, т

Клас бонітету	Походження		
	насіenne природне	насіenne штучне	разом
I ^a	4358,7	31996,1	36354,8
I	6705,9	34149,6	40855,5
II	1050,8	2634,7	3685,5
III	194,5	200,3	394,8
IV	30,4	0,0	30,4
Разом	12340,3	68980,8	81321,0

Як свідчать узагальнені дані, найбільших сумарних втрат зазнають високобонітетні насадження I^a та I класів, у яких потенціал депонування CO₂ за нормальних умов є найвищим. Зокрема, прогнозована втрата для насаджень I^a класу становить 36354,8 т, а для I класу – 40855,5 т, що у сукупності формує абсолютну більшість від загального обсягу. Значно нижчі значення характерні для насаджень II–III класів, тоді як вклад IV класу є мінімальним.

Загалом прогнозовані втрати сягають 81321,0 т вуглецю, що відображає довготривалі наслідки всихання та підтверджує високі ризики для вуглецевого балансу регіону. Втрата майбутнього депонувального потенціалу означає, що навіть після завершення активної фази деградації ліси протягом десятиліть не зможуть виконувати свою повноцінну кліматорегулювальну функцію, що посилюватиме регіональні викиди та загальну вразливість екосистем до змін клімату.

Висновки по розділу 3

Проведене дослідження засвідчило, що ялинові насадження Вигодського надлісництва мають високі таксаційні показники й значний потенціал депонування вуглецю. Переважна частка лісів належить до високобонітетних класів (I–I^a), що відображає сприятливі лісорослинні умови та високу продуктивність деревостанів. Домінування середньовікових насаджень забезпечує найбільше накопичення біомаси, тоді як стиглі ліси формують головний резерв вуглецю.

Найбільші площі ялинників зосереджені в межах типів C_3 (вологі сугруди) та D_3 (вологі груди), оптимальних для росту ялини. Водночас саме ці типи є найбільш уразливими: 78 % площі всихання припадає на штучні насадження, пошкодженої площі ялини. Загальна площа деградації становить 2030,7 га (близько 3,7 % вкритих лісом земель).

Виявлено просторову закономірність – найбільше всихання спостерігається у висотному діапазоні 801–1000 м. Аналіз ділянок показав, що суцільні санітарні рубки доцільні на сильно ослаблених ділянках, а вибіркові – для стабілізації помірно пошкоджених лісів.

Оцінка вуглецедепонувальної здатності показала, що всихання суттєво знижує потенціал ялинників до поглинання CO_2 . Найбільші втрати припадають на високобонітетні насадження, які формують основний вуглецевий резерв регіону. Розкладання відмерлої деревини спричиняє додаткові викиди парникових газів, що негативно впливає на кліматичний баланс Карпат.

Отримані результати підтверджують потребу у впровадженні адаптивного, наближеного до природи лісівництва, спрямованого на підвищення стійкості ялинників, формування змішаних насаджень і збереження їхньої вуглецедепонувальної функції.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Підсумовуючи одержані результати у процесі виконання завдань магістерської кваліфікаційної роботи, доцільно виокремити наступні висновки:

- встановлено, що ліси Вигодського надлісництва є одним із ключових природних елементів регіональної екологічної системи Карпат, що забезпечують стабільність вуглецевого балансу, акумулюють значні обсяги вуглецю та сприяють зниженню концентрації парникових газів в атмосфері;
- у структурі лісового фонду переважають ялинові насадження, які займають понад 70 % загальної площі лісів підприємства. Вони формують основну частку запасів деревини та визначають рівень виконання вуглецедепонуальної функції;
- проведений лісівничо–таксаційний аналіз показав, що більшість ялиників належить до високобонітетних класів (I–I^a), що свідчить про їх високу продуктивність, проте виявлено тенденцію до збільшення площ деградованих і всохлих насаджень, що призводить до істотних екологічних і кліматичних втрат;
- встановлено залежність масштабів всихання від висотного діапазону – найбільші площі деградованих насаджень зосереджені на висотах 801–1000 м, тоді як у верхніх поясах (понад 1200 м) процес має мінімальний прояв;
- виявлено залежність інтенсивності всихання від типів лісорослинних умов: найбільше ураження зафіксовано у типах C_3 і D_3 , що свідчить про високу чутливість навіть високопродуктивних ділянок;
- розрахунки свідчать, що втрати депонованого вуглецю внаслідок всихання можуть сягати десятків тисяч тонн, що негативно впливає на кліматичну стабільність Карпатського регіону;
- результати дослідження створюють наукову основу для вдосконалення системи моніторингу стану лісів і планування заходів з відновлення їх вуглецедепонуальної здатності.

Пропозиції виробництву:

– запровадити програму адаптивного лісовідновлення, яка передбачає поступове заміщення нестійких монокультур ялини на змішані ялицево-букові або ялицево-ялинові насадження з урахуванням висотної зональності та типів лісорослинних умов;

– здійснювати санітарно-оздоровчі заходи з урахуванням екологічної доцільності, обмежуючи суцільні рубки та надаючи перевагу вибірковим способам, що зберігають структуру лісу й сприяють природному поновленню;

– інтегрувати показники вуглецевого балансу у планування лісогосподарських заходів, використовуючи дані про запаси біомаси та щорічний приріст;

Запропоновані заходи сприятимуть підвищенню стійкості ялинових насаджень, відновленню їхньої вуглецедепонувальної здатності та забезпеченню збалансованого використання лісових ресурсів у сучасних кліматичних і соціально-економічних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альошкіна У. М., Жовтенко А. А., Вишенська І. Г., Расевич В. В., Гаврилов С. О., Ткачова А. О. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику «Лісники», м. Київ). *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*. 2011. Т. 119. С. 53–57.
2. Бокоч В. В. Біопродуктивність лісів Карпатського НПП за функціональними зонами. Ліс, довкілля, технології: наука та інновації : матеріали Міжнар. наук.–практ. конф. (Київ, 29 берез. 2012 р.). Київ : НУБіП України, 2012. С. 117–118.
3. Василюшин Р. Д. Нормативно-довідкові матеріали для оцінювання екосистемних функцій лісів Українських Карпат : навч.–наук. довід. Київ : ТОВ «Видавничий дім “Бук–Друк”», 2021. 222 с.
4. Василюшин Р. Д. Продуктивність та еколого–енергетичний потенціал лісів Українських Карпат : дис. ... д–ра с.-г. наук : 06.03.02. Київ, 2014. 275 с.
5. Вишенська І. Г. Роль компонентів лісових екосистем в акумуляції вуглецю як фактора підтримки їх стабільності до зовнішніх чинників. *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*. 2014. С. 62–64.
6. Генсірук С. А. Ліси України. Монографія. Київ : Наукова думка, 1992. 280 с.
7. Генсірук С. А. Ліси України. Львів : Наук. т–во ім. Шевченка ; Укр. держ. лісотехн. ун–т, 2002. 495 с.
8. Гордієнко М. І., Гордієнко Н. М. Лісівничі властивості деревних рослин. Київ : ТОВ «Вістка», 2005. 817 с.
9. Гордієнко М. І., Гузь М. М., Дебринюк Ю. М., Маурер В. М. Лісові культури. Підручник. Львів : Камула, 2005. 752 с.

10. Дебринюк Ю. М. Лісові культури. Методи і способи їх створення у типах лісу західного регіону України. Навч. посіб. Київ : Вид-во ІСДОУ, 1994. 168 с.
11. Дебринюк Ю. М. Ріст і продуктивність ялини європейської в лісових культурах Західного Полісся. *Стан і тенденції розвитку лісівничої освіти, науки та лісового господарства в Україні*. 2004. Вип. 14.6. С. 148–154.
12. Дебринюк Ю. М. Щодо особливостей створення та доцільності вирощування ялини європейської за межами її природного ареалу. *Лісовий журнал*. 1995. № 3. С. 8–10.
13. Дебринюк Ю. М. Ялина європейська (смерека) як високопродуктивна порода Малого Полісся. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2003. Вип. 13.3. С. 221–228.
14. Дебринюк Ю. М., Форгіль Я. С., Леснік В. В. Ялина як об'єкт плантаційного лісовирощування в ялицевих типах лісу Івано–Франківщини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.5. С. 168–174.
15. Зейналян А. М. Всихання ялинників у різних лісорослинних умовах Горган (Українські Карпати) : дис. ... д-ра філософії : 205 – Лісове господарство. Нац. лісотехн. Ун-т України. Львів, 2022. 200 с.
16. Ілюстрація атома вуглецю. Pixabay. URL: <https://pixabay.com/illustrations/carbon-atom-atoms-organic-4426054/> (дата звернення: 28.08.2025).
17. Котляревська У. М., Білоус А. М. Депонований вуглець та запас енергії у грубому деревному детриті вільхових лісів Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. С. 39–43.
18. Лавний В. В., Матусевич О. Б. Типологічна структура і продуктивність ялинових лісів Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2022. Вип. 24. С. 66–78.
19. Лавний В. В., Пелюх О. Р. Поширення та аналіз стану похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2019. Вип. 19. С. 49–56.

20. Лакида М. О., Василюшин Р. Д., Лакида І. П., Мельник О. М. Міські ліси Києва: біопродуктивність та еколого-енергетичний потенціал. Монографія. Київ: ЦП «Компринт». 2022. 312 с.
21. Лакида П. І. Фітомаса лісів України. Монографія. Тернопіль : Збруч, 2002. 256 с.
22. Лакида П. І., Бокоч В. В., Василюшин Р. Д., Терентьєв А. Ю. Біопродуктивність лісових фітоценозів Карпатського національного природного парку. Монографія. Корсунь–Шевченківський : Видавець В. М. Гавришенко, 2015. 153 с.
23. Лось Н. М. Лісові екосистеми Центрального Полісся в контексті запобігання зміні клімату. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вип. 20.1. С. 47–51.
24. Маландій Д. Д. Вплив вирубки лісів на вуглецевий цикл в екосистемах: визначення масштабів та тривалості відновлення вуглецевих запасів після вирубки лісів : кваліфікац. робота бакалавра. Суми, 2023. 56 с.
25. Марченко А. Б., Хахула В. С. Інфекційні хвороби деревних порід. Посіб. для студентів вищих навч. закл. агроном. факультету за напрямом підготовки «Лісове та садово–паркове господарство». Біла Церква : Білоцерківський нац. аграр. ун-т, 2014. 160 с.
26. Матусевич О. Б. Лісівнича характеристика і таксаційна оцінка ялинових деревостанів північно–східного макросхилу Українських Карпат у панівних типах лісу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. Т. 32, № 5. С. 28–35.
27. Мороз В. В., Стасюк Н. М., Федонюк Т. П. Особливості росту, розвитку та кліматостабілізаційної здатності ялинових насаджень Українських Карпат. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2021. Т. 31, № 5. С. 36–41.
28. Олійник В. С., Зейналян А. М. Висотно–поясні особливості всихання ялинників на північно-східному мегасхилі Українських Карпат. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2020. Вип. 136. С. 19–24.

29. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Донецьк : Вебер, 2008. 758 с.
30. Офіційний сайт ДП «Ліси України». URL: <https://e-forest.gov.ua> (дата звернення: 20.08.2025).
31. Паризька угода : Міжнародний договір від 12 груд. 2015 р., ратифікований Законом України від 14 лип. 2016 р. № 1469–VIII. – Офіц. переклад. Київ : Верховна Рада України, 2016. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text (дата звернення: 20.08.2025).
32. Савчук М. І., Васишин Р. Д. Лісівничі особливості формування сухостою у ялинових насадженнях Вигодського надлісництва. *Лісівнича освіта та наука в умовах національних викликів та європейської інтеграції України* : тези доповідей Міжнар. наук.–практ. конф. (Київ, 5–6 черв. 2025 р.). Київ : НУБіП України, 2025. С. 141.
33. Саранчук В. І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С. Основи хімії і фізики горючих копалин. Донецьк : Східний вид. дім, 2008. 640 с.
34. Середюк О. О. Ялина європейська у насадженнях Правобережного Лісостепу (стан, розмноження, ріст і розвиток) : дис. ... канд. с.–г. наук : 06.03.01 – лісові культури та фітомеліорація. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2015. 142 с.
35. Тараненко А. О., Тараненко С. В., Богдарьова Д. В. Перспективи вуглецевого землеробства для пом'якшення наслідків зміни клімату. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 134. С. 353–360.
36. Терентьев А. Ю., Бала О. П. Сучасний стан та продуктивність модальних деревостанів сосни звичайної та ялини європейської України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. Вип. 266. С. 91–104.
37. Товстуха Д. І. Вуглецевий баланс Кривого Рогу: екологічна оцінка, заходи з регулювання : кваліфікац. робота / Д. І. Товстуха ; наук. кер. Е. О. Євтушенко. Кривий Ріг, 2024. 54 с.

38. Товстуха Д. І., Євтушенко Е. О. Вуглецевий баланс м. Кривий Ріг: екологічна оцінка, заходи з регулювання. *Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування* : матеріали Міжнар. наук. конф. (Харків, 25–26 квіт. 2024 р.). Держ. біотехнол. ун–т. Харків, 2024. С. 119–121.
39. Хрик В. М., Кімейчук І. В. Лісівництво. Біла Церква : БНАУ, 2021. 444 с.
40. Часковський О. Г., Миклуш Ю. С., Кюмерле Т., Олофсон П. Вуглецевий баланс природних комплексів Західної України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 26.1. С. 16–29.
41. Швиденко А. та ін. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор. Монографія. Корсунь–Шевченківський : ФОП Гаврищенко В. М., 2014. 284 с.
42. Шпарик Ю. Всихання ялиників Карпат: причини і наслідки масового всихання смерекових лісів Карпат, прогноз динаміки їх площі та пропозиції з ведення в них природоохоронного господарства. Київ, 2019. 45 с.
43. Шпарик Ю. С. Екологічні наслідки всихання ялиників в основних типах лісу Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2019. Вип. 18. С. 145–153.
44. Caudullo G., Tinner W., de Rigo D. *Picea abies* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. (Eds.) *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. P. 114–116.
45. Ellenberg H. H. *Vegetation ecology of Central Europe*. 4th ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. 756 p.
46. Kermavnar J., Kutnar L., Pintar A. M. Ecological factors affecting the recent *Picea abies* decline in Slovenia: the importance of bedrock type and forest naturalness. *iForest*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 105–115. <https://doi.org/10.3832/ifor4168-016>.
47. Matthews G. The carbon content of trees. *Forest Research*. 1993. <https://cdn.forestresearch.gov.uk/1993/09/fctp004.pdf>.

48. Mitchell A. F. A field guide to the trees of Britain and northern Europe. London: Collins, 1974. 464 p.
49. Popa A., van der Maaten E., Popa I., Maaten-Theunissen M. Early warning signals indicate climate-change-induced stress in Norway spruce in the Eastern Carpathians. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 912. P. 169167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169167>.
50. Dixon R. K., Brown S., Houghton R. A., Solomon A. M., Trexler M. C., Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*. 1994. Vol. 263, No. 5144. P. 185–190.
51. Sun W., Liu X. Review on carbon storage estimation of forest ecosystems and applications in China. *Forest Ecosystems*. 2020. Vol. 7, No. 4. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0210-2>.