

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ
Кафедра лісового та садово-паркового господарства

На правах рукопису

ПУГАЧ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

**ОЦІНКА КОМПОНЕНТІВ НАДЗЕМНОЇ ФІТОМАСИ КЛОНІВ
ПЛЮСОВИХ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ
ШАЦЬКОЇ ЦЕНОПОПУЛЯЦІЇ**

Спеціальність 205 «Лісове господарство»

Освітньо-професійна програма «Лісове господарство»

Робота на здобуття освітнього рівня «Магістр»

Науковий керівник :
**АНДРЕЄВА ВАЛЕНТИНА
ВІКТОРІВНА,**
кандидат сільськогосподарських
наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ
Протокол № 4
засідання кафедри лісового та
садово-паркового господарства
від 18.11.2025
Завідувач кафедри
доц. В. Андрєєва 

ЛУЦЬК – 2025

Puhach A. M. Assessment of aboveground phytomass components of clones of Scots pine plus trees of the Shatsk cenopopulation. Lutsk. 2025. 54 p.

Анотація

Визначення вуглецевої ємності архівно-маточних плантацій дозволяє оцінити їхній внесок у загальний баланс зелених насаджень. Завдяки підвищеній продуктивності й генетичній стабільності, ці плантації не лише сприяють зниженню концентрації CO₂ в атмосфері, а й можуть стати важливим інструментом економічної вигоди через конвертацію додатково секвестрованого вуглецю у товарну форму, що поєднує екологічні, економічні та наукові аспекти сталого розвитку.

У першому розділі наводяться загальне поняття про дослідження продуктивності деревостанів в Україні та оцінку компонентів надземної фітомаси дерев головних лісоутворюючих видів.

Другий розділ містить характеристику об'єкта дослідження, а також природно-кліматичні умови регіону досліджень та основні положення методики досліджень.

Третій розділ містить аналіз оцінку компонентів надземної фітомаси клонів сосни звичайної Шацької ценопопуляції.

Четвертий розділ описує економічну оцінку архіву клонів на основі екосистемних послуг.

В п'ятому розділі описано охорону праці при проведенні лісовпорядних робіт.

Робота виконана на 54 сторінках друкованого тексту, містить 7 таблиць, проілюстрована 6 рисунками. Загальні висновки з проведених досліджень наведені в кінці роботи, перед списком використаної літератури.

Ключові слова: архівно-маточна плантація, клони плюсових дерев, компоненти надземної фітомаси дерев.

Пугач А. М. Оцінка компонентів надземної фітомаси клонів плюсових дерев сосни звичайної Шацької ценопопуляції. 2025. 54 с.

Annotation

Determining the carbon capacity of archive-mother plantations allows us to assess their contribution to the overall balance of green spaces. Due to their increased productivity and genetic stability, these plantations not only contribute to reducing CO₂ concentrations in the atmosphere, but can also become an important tool for economic benefit through the conversion of additionally sequestered carbon into a commodity form, combining environmental, economic and scientific aspects of sustainable development.

The first section provides a general concept of the study of forest stand productivity in Ukraine and the assessment of the components of the aboveground phytomass of trees of the main forest-forming species.

The second section contains a description of the research object, as well as the natural and climatic conditions of the research region and the main provisions of the research methodology.

The third section contains an analysis of the assessment of the components of the aboveground phytomass of Scots pine clones of the Shatsk cenopopulation.

The fourth section describes the economic assessment of the clone archive based on ecosystem services.

The fifth section describes labor protection during forest management work.

The work is completed on 54 pages of printed text, contains 7 tables, illustrated with 6 figures. General conclusions from the conducted research are given at the end of the work, before the list of used literature.

Keywords: archival-mother plantation, clones of plus trees, components of aboveground phytomass of trees.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1. Огляд літературних джерел	7
Розділ 2. Матеріали та методи дослідження	29
2.1. Природно-кліматичні умови регіону дослідження	29
2.2. Об'єкт і методика досліджень	29
Розділ 3. Результати дослідження та їх обговорення.....	31
Розділ 4. Економічна оцінка	44
Розділ 5. Охорона праці	46
Висновки	48
Список використаних джерел	49

ВСТУП

Актуальність. Акумуляція карбону архівно-маточною плантацією має особливе значення, оскільки такі насадження формують високопродуктивні деревостани з генетично добірним матеріалом, здатним інтенсивно нарощувати біомасу та ефективно секвеструвати CO₂ упродовж тривалого часу. На тлі глобального зростання концентрації вуглекислого газу та посилення кліматичних змін саме високоякісні плантації виступають стабільними та надійними депо вуглецю, де карбон акумулюється не лише у надземній і підземній фітомасі, а й у ґрунтовому горизонті, що забезпечує довготривале його утримання. Визначення вуглецевої ємності архівно-маточних плантацій дозволяє оцінити їхній внесок у загальний баланс зелених насаджень. Завдяки підвищеній продуктивності й генетичній стабільності, ці плантації не лише сприяють зниженню концентрації CO₂ в атмосфері, а й можуть стати важливим інструментом економічної вигоди через конвертацію додатково секвестрованого вуглецю у товарну форму, що поєднує екологічні, економічні та наукові аспекти сталого розвитку.

Мета роботи – оцінити компоненти надземної фітомаси клонів плюсових дерев сосни звичайної Шацької ценопопуляції.

Відповідно до мети роботи ми визначили перелік наступних завдань:

1. Встановити таксаційно-селекційні показники клонів сосни звичайної на архівно-маточній плантації у віці 44 роки.
2. Виконати розрахунки та оцінити ряд компонентів надземної фітомаси клонів плюсових дерев сосни звичайної у віці 44 роки.

Об’єкт дослідження – компоненти надземної фітомаси клонів плюсових дерев сосни звичайної.

Предмет дослідження – показники компонентів надземної фітомаси клонів плюсових дерев сосни звичайної Шацької ценопопуляції.

Наукова новизна роботи полягає у тому що вперше в регіоні досліджено компоненти надземної фітомаси клонів плюсових дерев сосни звичайної Шацької ценопопуляції у віці 44 роки.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

У сучасну епоху інтенсивного розвитку суспільства, виснаження природних ресурсів та неконтрольованого антропогенного впливу проблеми охорони навколишнього середовища загострюються. Лісові екосистеми виступають ключовими елементами стабілізації екологічної ситуації, забезпечуючи вирішення важливих економічних і соціальних завдань, адже за стійкістю та здатністю адаптуватися до змін зовнішніх умов вони перевершують інші екосистеми. Ліси є головним стабілізуючим компонентом ландшафту, охороняючи рослинний покрив, фауну, гідрологічний режим, ґрунти та атмосферу, а також найнадійнішою системою для накопичення вуглецю та запобігання парниковому ефекту, що робить вивчення їхньої біопродуктивності актуальним науково та практично [3].

Результати досліджень Ситника С. А свідчать про високий ресурсний та екологічний потенціал робінієвих деревостанів Північного Степу України, що зумовлює доцільність їх подальшого поширення та раціонального використання. З віком робінієві насадження демонструють стале збільшення компонентів надземної фітомаси, що вказує на їхню здатність тривалий час накопичувати значні обсяги біомаси та вуглецю. Максимальні показники фітомаси зафіксовано для деревини стовбурів у віковій групі 61–80 років, де нагромадження досягає 81,46 т гектару, що характеризує робінію як одну з найпродуктивніших порід у посушливих умовах Степу. У масштабах регіону робінієві насадження формують вагомий біоресурсний фонд, генеруючи близько 1,84 млн т надземної фітомаси, з якої потенційно депонується понад 900 тис. т вуглецю. Це підтверджує значну роль робінії у вуглецевому балансі екосистем та її внесок у пом'якшення наслідків кліматичних змін. Найбільшу частку накопиченої фітомаси зосереджено у деревостанах віком 41–60 років, які виступають ключовим періодом максимальної продуктивності та стабільності екологічних функцій насаджень [24].

Оцінка енергетичного потенціалу показала, що загальний запас енергії у надземній біомасі робінієвих насаджень становить понад 32 тис. ГДж, з яких близько 21 тис. ГДж припадає на деревину стовбурів. Найбільша енергетична цінність відзначена у перестиглих насадженнях віком 41–60 років, що свідчить про економічну доцільність використання саме цієї вікової групи для заготівлі деревини та біоенергетичних ресурсів [24].

Отже, проведене кількісне оцінювання підтверджує, що робінієві деревостани Північного Степу України є перспективним джерелом відновлюваної біомаси, ефективним депонентом вуглецю та вагомим елементом енергетичної безпеки регіону. Їх раціональне ведення, спрямоване на підтримання оптимальної вікової структури, дасть змогу не лише стабілізувати лісові екосистеми, а й підвищити їхню екологічну та економічну ефективність у довгостроковій перспективі [24].

Середні обсяги вуглецю, акумульованого у грубодеревних детритах дубових лісів України, істотно поступаються показникам, зафіксованим у лісових екосистемах Австрії. Така відмінність зумовлена більш інтенсивним веденням лісового господарства в Україні, у межах якого здійснюється регулярне видалення сухостою, фаутних дерев та деревної ламані. Незважаючи на порівняно невисокі запаси у вітчизняних дібровах, ці лісові екосистеми залишаються важливими резерватами вуглецю завдяки тривалому періоду мінералізації деревини дуба, що забезпечує пролонговане депонування вуглецю у детритному пулі [19].

За узагальненими оцінками, у детриті дубових лісів України акумульовано близько 1 Тг С вуглецю. Водночас реальний потенціал запасів ГДД та, відповідно, обсяг депонованого вуглецю можуть бути значно вищими, оскільки у чинній базі даних повидільної характеристики лісів враховано лише сухостій і захаращеність, наявні під час лісовпорядкування в межах одного виділу із запасом понад $5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Для підвищення точності оцінок обсягів депонування вуглецю у ГДД дібров України необхідним є проведення системних польових досліджень, розроблення удосконалених

методик інвентаризації та впровадження сучасних геоінформаційних технологій моніторингу лісового детриту [19].

Розроблений комплекс математичних моделей і нормативних таблиць оцінювання компонентів надземної фітомаси дерев сосни звичайної, створений на основі даних проф. Лакиди П. І. насаджень Черкаського бору, забезпечує науково обґрунтовану оцінку біопродуктивності та вуглеценакопичувальної здатності деревостанів. Отримані нормативи відображають закономірності розподілу фітомаси між основними структурними компонентами дерева – стовбуром і кроною, залежно від його біометричних параметрів. Запропоновані моделі дозволяють визначати не лише обсяги біомаси, а й потенційний вміст депонованого вуглецю в межах окремих дерев і насаджень загалом [17].

Після практичної апробації ці дані можуть бути використані як регіональна нормативно-інформаційна база для ведення лісового господарства на засадах сталості. Використання запропонованих підходів сприятиме підвищенню точності оцінювання лісоресурсного потенціалу, покращенню екологічного моніторингу та оптимізації управлінських рішень у сфері раціонального використання лісових екосистем [17].

У межах Українського Полісся у грубому деревному детриті (сухостій і деревна ламань) вільхових лісів зосереджено 39,9 Гг С вуглецю, що відповідає 1,43 ПДж загального запасу енергії [11]. На площі 17,2 тис. га вільхових насаджень акумульовано близько 185,42 тис. м³ сухостою та деревної ламані. Середні запаси сухостою становлять 11,0 м³·га⁻¹, а деревної ламані – 10,2 м³·га⁻¹. Переважна частка детритної маси (88,7 %) зосереджена у деревостанах вегетативного походження, що свідчить про їхній істотний внесок у формування вуглецевого та енергетичного потенціалу лісових екосистем Полісся. Отримані результати підкреслюють екологічну значущість мортмаси як резервуара органічної речовини та енергетичного ресурсу, а також її роль у регуляції біогеохімічних циклів у лісах вільхи клейкої [11].

Результати досліджень демонструють, що соснові насадження, закладені на староорних землях в умовах Українського Полісся, володіють високим екологічним потенціалом для депонування вуглецю з атмосфери. Запропоновані нормативно-довідкові таблиці біотичної продуктивності та динаміки накопиченого вуглецю можуть бути використані для екологічного моніторингу лісових екосистем регіону, а також сприяти ефективному застосуванню фінансових механізмів вуглецевого ринку в Україні, зокрема через реалізацію проектів спільного впровадження [15].

Цікавим є питання депонування органічного вуглецю в ґрунтах, яке вже давно не слід розглядати виключно як індикатор екологічного стану ґрунту або його роль у глобальних кліматичних змінах та адаптації до них. Цей процес повинен враховуватися при плануванні ведення сільського господарства, формуванні сівозмін, виборі способів оранки та культивування тощо. Антропогенна діяльність, пов'язана з перетворенням природних ландшафтів на агроландшафти, є одним із ключових чинників прискореного вивільнення вуглецю в атмосферу, що спричиняє посилення парникового ефекту. Тому процеси накопичення, трансформації та фіксації карбону в ґрунтах мають розглядатися на рівні, порівнянному з іншими ключовими агротехнічними заходами, такими як застосування засобів захисту рослин або методи підвищення врожайності. Власне, депонування органічного вуглецю також є інструментом підвищення продуктивності ґрунтів і врожайності сільськогосподарських культур [8].

У Правобережному Поліссі досліджувані ліси акумулювали 419,5 млн м³ запасу стовбурної деревини та 154,9 млн т вуглецю, при цьому найбільші обсяги фітомаси зафіксовано у держлісфонді Житомирської області – 156,46 млн м³, де також накопичено максимальний обсяг депонованого вуглецю – 53,37 млн т.

Основну частку загальної фітомаси формують насадження хвойної групи лісотвірних порід, з яких 98,8 % припадає на сосну звичайну, що містить 89,3 млн т депонованого вуглецю або 64,9 % загального запасу

регіону. Щільність вуглецю в насадженнях хвойних порід варіює від 8,0 кг/м² у Волинській області до 9,3 кг/м² у Рівненській.

У дубових деревостанах щільність вуглецю коливається від 8,0 кг/м² (Волинська область) до 10,5 кг/м² (Рівненська область), що суттєво перевищує показники щільності м'яколистяних та хвойних лісів. Порівняно із середньорегіональною щільністю вуглецю, дубові насадження характеризуються більш високими показниками: у Волинській області на 9,6 %, у Житомирській – на 16,1 %, у Рівненській – на 19,1 %, а в лісах ДП «Житомироблагроліс» – на 22,4 % [9]. Оцінка біопродуктивності лісів Правобережного Полісся свідчить про наявність резервів для підвищення виконання ними екологічних функцій, зокрема через заміну малопродуктивних м'яколистяних насаджень на деревостани більш цінних порід, у тому числі дубові, що характеризуються вищою деревною продуктивністю та щільністю вуглецю. Перспективними є подальші дослідження, присвячені визначенню біопродуктивності інших компонентів лісових насаджень як складової лісових екосистем, з метою оцінки їх внеску у регуляцію навколишнього середовища та розробку ефективних заходів управління лісовими ресурсами [9].

Міскантус гігантський широко культивують у багатьох країнах як високопродуктивна біоенергетична культура для виробництва твердого біопалива. Плантації міскантусу, здатні формувати значні обсяги фітомаси, також виконують важливі екологічні функції, зокрема секвестрування вуглекислого газу та продукування кисню, що сприяє підтриманню життєдіяльності екосистем і пом'якшенню наслідків кліматичних змін [6].

Динаміка депонування вуглецю свідчить, що щорічне накопичення вуглецю в надземній біомасі зростає від приблизно 2 т·га⁻¹ на однорічних плантаціях до 9 т·га⁻¹ у віці 8–10 років, після чого поступово знижується до 7 т·га⁻¹ протягом наступних п'яти років. При цьому секвестрування вуглецю в надземній фітомасі є короткотерміновим, тоді як триваліший вплив на

вуглецевий баланс атмосфери забезпечується за рахунок накопичення вуглецю у підземній біомасі міскантусу та органічній речовині ґрунту [6].

Для України перспективним є проведення поглиблених досліджень, спрямованих на оцінку обсягів депонування вуглецю у підземній біомасі міскантусу та у ґрунтовій органічній речовині різних типів ґрунтів. Це дозволить точніше визначити внесок цієї культури у кліматичну регуляцію, екологічні послуги та біоенергетичний потенціал країни [6].

Встановлено, що найбільша частка вуглецю (60–80 %) акумулюється у живій фітомасі рослин, тоді як у підстилці рослин накопичується найменша кількість вуглецю (1–7 %). Решта частка вуглецю депонується у ґрунті. У складі живої фітомаси дерев переважна частка вуглецю зосереджена у стовбурах, тоді як у листовій масі накопичується найменша його кількість [18].

Виявлено пряму залежність між кількістю депонованого вуглецю та площею зелених насаджень: збільшення площі об'єкта зеленої інфраструктури сприяє більшому накопиченню вуглецю у живій фітомасі, підстилці та ґрунті. Крім того, об'єкти зеленої інфраструктури, основною породою яких є дуб, характеризуються вищими запасами депонованого вуглецю, порівняно з насадженнями, де домінує клен [18].

На прикладі чотирьох дослідних ділянок у заказнику «Лісники» було визначено запаси депонованого вуглецю в лісових екосистемах. Дубовий ліс акумулює близько $231 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ вуглецю, ясенево-дубовий – $210 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, природний сосновий ліс – $185 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а штучний сосновий ліс – $177 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ [1].

Переважна частка вуглецю (62–73 %) зосереджена у деревному ярусі, тоді як у ґрунті накопичується 21–30 %, у підрослі та чагарниках – 0,3–5 %, у трав'яному ярусі – 0,01–0,1 %, а в підстилці – 3–10 %. Коротковегетуючі компоненти, що беруть участь у однорічному кругообігу речовин, акумулюють лише 3–5 % загального вуглецю лісових екосистем [1].

Секвестрація вуглецю ґрунтом потребує глибокого розуміння екологічних процесів, що визначають його накопичення та збереження.

Органічна речовина ґрунту включає ґрунтові мікробні спільноти, зокрема бактерії та гриби, а також відмерлі рослинні й тваринні матеріали та продукти їх розкладу. Сильно трансформований органічний матеріал утворює гумус, який містить ґрунтовий органічний вуглець (ГОВ). Загалом, чим більший вміст органічних речовин у ґрунті, тим вищий рівень ГОВ.

ГОВ утримується в ґрунті завдяки фотосинтезу, який перетворює атмосферний CO_2 у рослинну біомасу. Лише частина цього вуглецю фіксується у ґрунті через формування гумусу, тоді як більша його частка втрачається як CO_2 під час мікробного розкладання. Порівняно з біомасою, гумус характеризується високою стійкістю до розкладання та здатен зберігатися в ґрунті тривалий час. Втрати ГОВ можуть відбуватися також через ерозію та вимивання розчиненого вуглецю в ґрунтові води. Коли надходження та втрати вуглецю врівноважені, залишається стабільним; у протилежних випадках він може зростати або зменшуватися [1].

ГОВ має велике значення для сільського господарства: він підвищує продуктивність ґрунту, покращує утримання води та поживних речовин, сприяє структурній стабільності ґрунту та зменшує ерозію, що позитивно впливає на якість водних ресурсів. Таким чином, секвестрація вуглецю ґрунтом сприяє продовольчій безпеці та пом'якшенню негативного впливу на екосистеми [1].

Одним із підходів до економічної оцінки запасів органічного вуглецю в ґрунті є використання соціальної вартості карбону, яка відображає уникнення суспільних витрат, пов'язаних із викидами CO_2 . Цей показник демонструє чисту теперішню вартість впливу на зміну клімату внаслідок збільшення або зменшення викидів вуглецю. Використовуючи дані про запаси ГОВ у профілі та оцінки соціальних витрат від викидів CO_2 можна розрахувати соціальну вартість ГОВ у ґрунтах України на одиницю площі [1].

Господарська діяльність спричиняє вивільнення значних обсягів вуглецю, який довгий час зберігався в ґрунті та біомасі рослин, що призводить до підвищення концентрації парникових газів і зміни

радіаційного балансу Землі. Парникові гази, зокрема CO_2 та метан, затримують довгохвильове випромінювання, спричиняючи глобальне потепління, а секторальні емісії від сільського господарства та зміни землекористування становлять близько 25 % антропогенних викидів [7]. Для прийняття ефективних рішень щодо скорочення викидів використовують математичне моделювання кліматичної, економічної та біофізичної підсистем, однак значна невизначеність даних та складність інтеграції процесів лісокористування й кругообігу вуглецю вимагають розробки нових методів оцінки та аналізу невизначеностей [7].

Україна є однією з найбільших країн Європи з помірно континентальним кліматом та п'ятьма природними зонами, серед яких Полісся, Лісостеп і Степ, а також дві гірські системи – Карпати і Крим. Ліси займають 9,6 млн га і характеризуються нерівномірним розподілом, переважанням хвойних і твердолистяних порід, а середній вік насаджень становить 62 роки [27]. Протягом останніх півстоліття площа лісів зросла майже на третину, при цьому основні зусилля з лісовідновлення реалізовувалися у 1960–1990-х роках; середній запас деревини становить $220 \text{ м}^3/\text{га}$, а приріст – близько $4 \text{ м}^3/\text{га}$ на рік. Основними природними чинниками порушень є лісові пожежі та шкідники, а близько 14 % лісів перебувають під охороною у спеціально захищених територіях. Ліси України розглядаються як ефективний інструмент захисту та відновлення навколишнього середовища, а в межах дослідження створено спеціальну інформаційну базу для оцінки біофізичних показників лісів, включно з живою біомасою та чистою первинною продукцією [27].

Аналіз повидільної бази даних вільхових лісів Українського Полісся показав, що насадження вільхи клейкої мають запас сухостою 145 тис. м^3 та деревної ламані 41 тис. м^3 , з яких лише 3 % є ліквідними, при середньому запасі $11,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ і $10,2 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ відповідно, а основна частка (88,7 %) зосереджена у деревостанах вегетативного походження [12]. Загалом у грубому деревному детриті клейковільхових насаджень накопичено 39,9 Гг С

вуглецю та 1,43 ПДж енергії, при цьому енергетичний запас деревної ламані коливається від 61 ГДж·га⁻¹ (Сумська обл.) до 125 ГДж·га⁻¹ (Чернігівська обл.) [12].

З екологічної точки зору, швидкорослість деревних порід м'яколистяної групи сприяє підвищенню інтенсивності стоку вуглецю, що є позитивним фактором для регуляції вуглецевого балансу. Водночас у лісовій галузі такі тенденції можуть викликати обґрунтовані заперечення щодо ефективності використання ресурсів [14]. Загалом, результати досліджень свідчать, що ведення лісового господарства в Україні сприяє накопиченню депонованого вуглецю у фітомасі лісів, стабілізуючи глобальні кліматичні процеси, при цьому динаміка депонованого вуглецю є позитивною: близько 45 % для хвойних і твердолистяних порід та 10 % для м'яколистяних, із помітним зростанням частки вуглецю у останніх [14].

Протягом трьох десятиріч фітомаса робінієвих насаджень зазнала незначного перерозподілу між структурними компонентами: частка деревини та кори стовбурів зросла на 4,5 %, а гілок – на 3,5 %, тоді як частка листя зменшилася до 2–5 % залежно від віку насаджень [25]. Біоекологічні закономірності розвитку робінії звичайної у сухих степових умовах демонструють швидкий ріст кореневих систем у перші роки, формування тонкої, але суцільної підстилки та пригнічення інших видів у підліску через дефіцит вологи. За період 1973–2011 рр. площа робінієвих насаджень у Дніпропетровській області зросла на 6,8 тис. га до 17,6 тис. га із загальним запасом деревини 2,73 млн м³, а їхні функціональні насадження здатні депонувати 0,01–0,07 % річних викидів техногенного вуглецю регіону [25].

Аналіз коефіцієнтів кореляції показав наявність високого та дуже високого прямого зв'язку між запасом деревостанів у корі, масою основних компонентів надземної фітомаси стовбурів та таксаційними показниками насаджень (середній діаметр, середня висота, відносна повнота), із коефіцієнтами кореляції від 0,51 до 0,93 [13]. Лінійні залежності між компонентами крони та цими ж аргументами були слабкими та статистично

незначущими, а відносні величини фітомаси крони демонстрували помірні обернені зв'язки. Багатоваріантний регресійний аналіз із використанням алометричних залежностей дозволив відібрати моделі, які адекватно описують масу надземної фітомаси соснових деревостанів Черкаського бору, із високими коефіцієнтами детермінації ($Q^2=0,91-0,99$). Включення відносної повноти деревостанів як додаткового фактора значно покращувало статистичні параметри адекватності моделей і рекомендується для побудови нормативних таблиць оцінки фітомаси [13].

На територіях природно-заповідного фонду України ефективність ведення лісового господарства визначається процесами секвестрації вуглецю, що впливають на продуктивність деревостанів і формування чистої первинної продукції [32]. Дослідження на постійних пробних ділянках у парку «Феофанія» показують, що антропогенна діяльність та природні процеси спричиняють багатовекторний перерозподіл запасів вуглецю у компонентах фітомаси. Формування змішаних і різновікових деревостанів сприяє стійкішій секвестрації вуглецю та зменшує ризики негативного балансу вуглецевого циклу. Довгострокове спостереження за динамікою вуглецю на експериментальних ділянках дозволяє оцінити вплив змін клімату та антропогенних факторів на розвиток лісів і їхню екологічну функцію [32].

Ковбасою Я. В. було зібрано експериментальний матеріал для оцінювання мортмаси березових насаджень на 32 тимчасових пробних площах у межах Чернігівської області [10]. Проведено детальний аналіз компонентного складу мортмаси, що охоплює сухостій, деревну ламань, гілки та лісову підстилку, із визначенням їхнього внеску у загальний запас відмерлої органічної речовини. Встановлено тісні кореляційні зв'язки між таксаційними показниками деревостанів (вік, середній діаметр, повнота) та обсягом мортмаси, який коливався в межах $20-65 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Здійснено моделювання компонентів мортмаси березняків залежно від біометричних характеристик, що дозволило створити нормативно-довідкові таблиці для

кількісної оцінки мортмаси та депонованого вуглецю. Визначено, що сумарний запас мортмаси у березняках Чернігівщини становить у середньому $47,3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, із депонованим у ній вуглецем близько $23,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ [10].

Лісові екосистеми Львівщини характеризуються значним потенціалом акумулювання вуглецю, загальний обсяг якого станом на 1.01.2006 р. становив близько 54 млн т, або 9 % запасів лісів України [4]. Середня щільність депонованого вуглецю у вкритих лісовою рослинністю ділянках сягає $8,7 \text{ кг/м}^2$, що перевищує середній показник по країні. Щорічно лісові насадження області акумулюють понад 626 тис. т вуглецю, компенсуючи частину антропогенних викидів, 88 % яких припадає на пересувні джерела. У межах реалізації Кіотського протоколу підвищення запасів вуглецю набуває не лише екологічного, а й економічного значення, відкриваючи перспективи формування вуглецевих кредитів. Раціональне використання цього потенціалу сприятиме ефективному лісоуправлінню та вирішенню екологічних, енергетичних і соціально-економічних завдань регіону [4].

Проблеми, пов'язані з наслідками змін клімату, набули глобального характеру й розглядаються не лише як питання природокористування, а як загроза екологічній безпеці та якості життя населення. В Україні екологічна політика та Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 року передбачають скорочення викидів і підвищення поглинання парникових газів шляхом впровадження «зелених» технологій і сталого управління лісовими екосистемами [4]. Лісові фітоценози відіграють провідну роль у регулюванні глобального вуглецевого циклу, акумулюючи понад 1×10^{15} т вуглецю у біомасі, детриті та ґрунтовому покриві, що дозволяє їм бути стабільними природними системами протидії парниковому ефекту. Моніторинг росту, відпаду дерев і динаміки біомаси забезпечує оцінку вуглецедепонуальної ємності лісів, необхідну для моделювання продуктивності та прогнозування кліматичних змін на регіональному рівні. Здійснення заходів із мінімізації антропогенного впливу й збереження екосистемних послуг зелених насаджень сприятиме зниженню екологічних ризиків, покращенню якості

атмосферного повітря та формуванню комфортного середовища для населення [4].

Недавні дослідження показали, що певні стратегії лісового господарства здатні підвищувати потенціал акумуляції вуглецю (C) та збереження органічного вуглецю ґрунту (SOC) (Ameray et al., 2021). Підлісок є важливим компонентом лісових екосистем, проте його часто видаляють у насадженнях для зменшення конкуренції з деревними культурами за поживні речовини та воду (Giuggiola et al., 2018; Zhang et al., 2022). У регіонах з вологим тропічним і субтропічним кліматом для запобігання або пом'якшення кислотності ґрунтів широко застосовується вапнування (Хуе et al., 2010; Номан et al., 2016). Наприклад, Liu J. та співавт. виявили, що одночасне видалення підліску та внесення вапна пригнічують загальну ґрунтову респірацію, проте наявність підліску може зменшувати підвищення гетеротрофної респірації, спричинене вапнуванням.

Huang та співавт. [40] дослідили вплив типу рослинності на накопичення вуглецю в екосистемі та його розподіл у субтропічних плантаціях. Вони виявили, що щільність вуглецю в екосистемі плантації *Schima superba* була вищою порівняно з плантаціями сосни слеш і сосни Массон, що пояснювалося різницею у щільності вуглецю біомаси рослин, а не в запасах SOC. Широколисті плантації можуть мати більший екосистемний запас вуглецю в субтропічних регіонах. Xanthopoulos та співавт. кількісно оцінювали запаси вуглецю в плантації *Robinia pseudoacacia* L. (чорний клен) та вивчали вплив віку деревостанів у найбільшому центрі бурого вугілля Греції. Вони встановили, що опадання листя починається на початку вегетаційного сезону і разом з дрібними коренями постачає органічний вуглець у ґрунт; при цьому накопичення SOC зменшується з віком дерев. Запаси вуглецю у надземній і підземній біомасі збільшуються лінійно з віком, що поглиблює розуміння процесів акумуляції вуглецю у відновлюваних насадженнях на деградованих післягірничих територіях.

Біологічні та абіотичні чинники ґрунтового середовища впливають на розподіл SOC та потенціал його секвестрації. Концентрація SOC зазвичай обернено пропорційна глибині ґрунту, при цьому найбільше накопичення і обіг органічного вуглецю відбувається в орному шарі. Ця закономірність зумовлена розподілом рослинного опаду та густотою корневих систем у профілі ґрунту, а вертикальні закономірності SOC є ключовими для оцінки потенціалу секвестрації вуглецю. Liu B. та співавт. досліджували 18 ґрунтових профілів на глибині одного метра у плантаціях тополі в східному Китаї та виявили, що концентрація SOC регулюється як фізико-хімічними, так і мікробіологічними властивостями ґрунту, при цьому у верхньому шарі переважають хімічні властивості, а в підґрунті – мікробні. Це підкреслює ключову роль мікробної спільноти у регуляції SOC у підґрунті та поглиблює розуміння механізмів його розподілу вздовж профілю ґрунту.

Загалом результати цих досліджень підтверджують важливість видового складу дерев у накопиченні вуглецю в біомасі рослин, демонструють роль підліску у регуляції динаміки SOC та свідчать про різницю у механізмах контролю SOC між орним шаром і підґрунтям. Подальші дослідження необхідні для кращого розуміння впливу функціональних властивостей дерев на секвестрацію SOC, ефекту стратегій лісового господарства на щільність вуглецю в екосистемі та впливу віку деревостанів на вуглецевий резервуар зрілих лісів. Ці знання є надзвичайно важливими для управління плантаційними лісами, оскільки підтримка та підвищення їхньої функції як вуглецевого резервуару може сприяти пом'якшенню зростання концентрації CO₂ в атмосфері [40].

Китайські науковці вважають, що лісорозведення є ефективною стратегією збільшення поглинання вуглецю на землі [37]. Однак його потенціал поглинання вуглецю залишається невизначеним через нестачу даних великомасштабних вибірок та обмежені знання про зв'язок між динамікою вуглецю рослин та ґрунту. Тут ми проводимо масштабне дослідження 163 контрольних ділянок та 614 лісових ділянок, що включають

25304 дерева та 11700 зразків ґрунту на півночі Китаю, щоб заповнити цю прогалину в знаннях. Ми виявили, що лісорозведення на півночі Китаю сприяє значному поглинанню вуглецю ($913,19 \pm 47,58$ Тг С), 74% якого зберігається в біомасі, а 26% - в органічному вуглеці ґрунту. Подальший аналіз показує, що поглинання вуглецю біомаси спочатку збільшується, але потім зменшується зі збільшенням азоту в ґрунті, тоді як органічний вуглець ґрунту значно зменшується в багатих на азот ґрунтах. Ці результати підкреслюють важливість врахування взаємодії рослин і ґрунту, модульованої постачанням азоту, у розрахунок та моделювання поточного та майбутнього потенціалу поглинання вуглецю [37].

Згідно з даними інших дослідників [38], органічний вуглець ґрунту (SOC) сприяє продуктивності лісів та покращує поглинання вуглецю в лісовій екосистемі. Проте наявні дані про вуглецеві проекти на основі лісів серед африканських країн, які ратифікували Кіотський протокол та є сторонами Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату показують, що мало уваги приділяється SOC, сухостою та сміттям. Наприклад, Кенія пілотувала п'ять заходів Механізму чистого розвитку з лісорозведення та лісовідновлення в державних лісах, жоден з яких не стосується SOC, проте дослідження в інших країнах показали, що лісові ґрунти складають близько 73% світового сховища вуглецю. Тому було визначено різницю в секвестрації вуглецю ґрунту між вибраними ключовими лісовими плантаціями в Кенії та їх майбутній вплив на механізм сталого розвитку. Ґрунти були відібрані на глибині 0-20, 20-50 та 50-80 см з плантацій *Pinus patula*, *Cupressus lusitanica*, *Juniperus procera* та *Eucalyptus saligna/grandis* у Центральній Кенії для аналізу вуглецю, рН ґрунту, азоту, фосфору та калію. Опад, зібраний з кожної з цих лісових плантацій, був проаналізований на вміст азоту та вуглецю. Плантації *Pinus patula* мали значно більшу кількість ґрунтового вуглецю ($132,2 \pm 12,55$ MgC га⁻¹) порівняно з плантаціями *Cupressus lusitanica* ($114,4 \pm 12,55$ MgC га⁻¹) та *Eucalyptus saligna* ($85,0 \pm 12,55$ MgC га⁻¹). Зокрема, плантації *Pinus patula*

поглинули майже вдвічі більше ґрунтового вуглецю порівняно з надземними та підземними запасами вуглецю, тоді як *Cupressus lusitanica* та *Eucalyptus saligna/grandis* були приблизно в 1,2 та 1,3 рази вищими відповідно. Рівень кислотності варіювався серед видів, між ділянками та в межах ділянок від дуже сильно кислого до дуже слабо кислого. Кількість ґрунтового азоту, фосфору та калію між ділянками, видами дерев та глибиною ґрунту значно відрізнялася. Таким чином, це дослідження розкриває потенціал ґрунтового вуглецю в лісових насадженнях, який необхідно враховувати під час розробки та впровадження заходів з лісорозведення та лісовідновлення в рамках Механізму сталого розвитку. Так само, відмінності в поглинанні вуглецю в ґрунті між видами необхідно враховувати під час оцінки запасів вуглецю в рамках сертифікованих та добровільних ринків компенсації викидів вуглецю, щоб сприяти вирощуванню дерев з високим потенціалом поглинання вуглецю для сталого розвитку. Це важливо, оскільки впровадження Механізмів чистого розвитку на основі лісів надало поштовх урядам Африки у впровадженні програм лісорозведення та лісовідновлення для збільшення запасів вуглецю та підвищення стійкості біофізичних та соціальних систем до впливу зміни клімату [38].

Цікаві дослідження були проведені в Киргизії [34]. Територія Киргизії, як і Центральна Азія в цілому, насправді не є так званим лісовим регіоном. Однак, незважаючи на те, що лісова площа в країні обмежена, ліси Киргизії є не лише джерелом деревини, фруктів та іншої цінної продукції, але й відіграють надзвичайно важливу захисну, екологічну та кліматорегулюючу роль. Завдяки багатому біологічному різноманіттю їх значення виходить далеко за межі національних кордонів, а деякі мають глобальне значення. Кліматорегулююча роль лісів пов'язана з відкладенням атмосферного вуглецю, що дозволяє певною мірою збалансувати викиди CO₂ в атмосферу. Ліси – це системи землекористування з високою популяцією дерев, які відіграють важливу роль у секвестрації вуглецю. Лісові екосистеми зберігають понад 80% усього наземного надземного вуглецю та понад 70%

усього вуглецю. Останніми десятиліттями ліси розглядаються як основний фактор пом'якшення зміни клімату, оскільки вони одночасно є джерелом і поглиначем вуглецю. Акумулююча роль лісів вивчається в різних екологічних регіонах світу, проте в Киргизії такий аналіз проводиться частково, в різних типах лісів.

Ялинові ліси, розташовані на схилах Центрального Тянь-Шаню, розподілені за висотою. На середній висоті 2000-2040 м над рівнем моря найвищий вміст С спостерігається в деревині без кори, хвої та пагонах дерев, але на більшій висоті цей параметр зменшився для хвої та пагонів і залишився стабільним у корі та деревині. Ці дані свідчать про те, що вміст карбону у корі насаджень збільшується з висотою над рівнем моря. Вміст карбону у деревині та корі тянь-шанської ялини змінюється в межах 50-510%. Найбільша частина С зберігається в лісах Північної Киргизії, двох регіонів зі схожими кліматичними умовами – Іссик-Кульської (13% загальної площі лісів) та Наринської (12%), а невелика частина С зберігається в Чуйській області (4%).

Таким чином, високогірні ялинові ліси Киргизії значно сприяють низьковуглецевому розвитку країни та повинні бути під охороною та примножені для сталого майбутнього Центральноазіатського регіону [34].

В Судано-Сахельській зоні Камеруну проводили дослідження накопичення вуглецю на плантаціях кешью [29]. Плантація кешью активно поглинає вуглець, демонструючи потенціал для пом'якшення глобальної зміни клімату. Зрештою, ці результати також є важливою економічною, екологічною та динамічною інформативною цінністю, яка слугуватиме основою для керівництва будь-якою програмою дій, спрямованою на збереження та стале управління цим видом [29].

Третяк П. Р. та Черневий Ю. І. провели теоретичне узагальнення щодо оцінювання матеріально-енергетичного впливу приросту фітомаси лісів України на приземну атмосферу порівняно з іншими типами рослинності [26]. Їх концепція базується на біохімічних та фізичних закономірностях

фотосинтезу й транспірації, що зумовлюють охолодження повітря. Аналітичні дані свідчать про значний внесок лісів у регулювання газового складу та енергетичного потенціалу приземного шару атмосфери. Ліси України щорічно депонують близько $3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ вуглецю, продукують $8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ кисню та випаровують до $3600 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ води, що забезпечує охолодження повітря; інтенсивність цих процесів у лісах утричі перевищує показники лучної рослинності, а у високопродуктивних насадженнях може зростати в кілька разів [26].

Групою американських дослідників було запропоновано кілька ініціатив для пом'якшення втрати лісів та зміни клімату шляхом посадки дерев, а також підтримки та відновлення лісових екосистем [33]. Ці ініціативи викликані глобальними оцінками характеристик дерев та лісів та їхнього внеску в компенсацію викидів вуглекислого газу (CO_2). Було використано дані з понад 130 000 національних ділянок лісової інвентаризації, щоб описати внесок майже 1,4 трильйона дерев на лісових угіддях у межах Сполучених Штатів пом'якшення викидів CO_2 та потенціал для підвищення здатності до поглинання вуглецю на продуктивних лісових угіддях. Ліси та заготовлена деревна продукція поглинають еквівалент понад 14% від загальноекономічних викидів CO_2 у Сполучених Штатах щорічно, і існує потенціал для збільшення здатності до поглинання вуглецю на 20% (187,7 мільйона метричних тонн (ММТ) CO_2) на рік шляхом повного зариблення всіх недостатньо продуктивних лісових угідь [33].

Однак існують проблеми та можливості, які слід враховувати при посадці дерев. Лісові екосистеми є найбільшим наземним поглиначем карбону на Землі, і їх управління було визнано економічно ефективною стратегією зменшення викидів парникових газів. У Сполучених Штатах лісові угіддя становлять майже третину загальної площі суші, а ліси зберігають понад три десятиліття вуглекислого газу (CO_2), що викидається з викопного палива в масштабах усієї економіки. Внесок лісових угідь у компенсацію викидів у Сполучених Штатах залишається відносно

стабільним з 2005 року, незважаючи на стабільне скорочення викидів CO₂ в масштабах усієї економіки протягом цього періоду. Це свідчить про те, що поглинач карбону лісами в Сполучених Штатах, який значною мірою зумовлений відновленням лісів після вирубки та природних порушень, повільно зменшується. Запропоновані заходи з лісорозведення та лісовідновлення можуть прискорити секвестрацію запасів вуглецю живими деревами в лісах та накопичення вуглецю в ґрунтах, а також потенційно розширити лісові угіддя, забезпечуючи безліч екосистемних послуг. Однак практичні обмеження та соціально-економічна конкуренція з іншими землекористуваннями та цілями управління можуть обмежувати це впровадження. Хоча невизначеність щодо стратегій пом'якшення наслідків зміни клімату залишається, ринки вуглецю мають потенціал впливати на пріоритет, що надається землекористуванню для сприяння зберіганню вуглецю в лісах [33].

З літературних даних робимо висновок, що лісові екосистеми є критично важливим компонентом глобального вуглецевого циклу, які зберігають вуглець як у рослинній біомасі, так і в органічній речовині ґрунту. Викликають інтерес факти що вмісту вуглецю і заготовлених деревних виробах (ЗДП) [35].

Заготівля деревини може латерально переміщувати вуглець, що зберігається в лісовому секторі, до ЗДП і таким чином створювати вуглецевий пул. Вуглець, що зберігається в ЗДП, розподіляється на кінцеві деревні вироби (наприклад, папір, меблі), звалища (наприклад, деревні відходи) та деревне вугілля (наприклад, біовугілля енергетичного використання). Прогнозується, що зміни навколишнього середовища матимуть далекосяжний вплив на вуглець, що зберігається в ЗДП, змінюючи постачання деревини [35].

Крім того, технологічний прогрес у деревообробній промисловості прискорює темпи надходження вуглецю, підвищуючи ефективність обробки, та знижує темпи відтоку, створюючи інноваційні деревні вироби з довшим

терміном служби. Соціально-економічні фактори, такі як населення та дохід домогосподарств, також сприяють змінам запасів вуглецю в деревних виробках, розширюючи або зменшуючи попит. Враховуючи численні фактори, що корелюють з розміром вуглецевого пулу ЗДП, глибоке та всебічне розуміння цих факторів, що впливають на зміну накопичення вуглецю ЗДП, є важливим для моделювання та прогнозування вуглецю, що зберігається в ЗДП, концентрації CO₂ в атмосфері та глобального потепління [35].

Дослідження, які проводились в субтропічному регіоні Китаю, щоб оцінити вплив типу рослинності на запаси та розподіл вуглецю в плантаційних екосистемах показали, що тридцятирічні насадження *Pinus sylvestris*, *Schima superba* та *Pinus massoniana* мають щільність запасів вуглецю 17,7; 21,6 та 15,3 кг·м⁻² відповідно, причому основна його частка зосереджена у надземній біомасі та ґрунті [39]. Плантації *Schima superba* характеризувалися найвищими показниками акумуляції вуглецю, які перевищували відповідні значення у хвойних насадженнях на 27,4–53,4%. Виявлено, що тип рослинності істотно впливає на загальні запаси вуглецю, однак не визначає закономірностей його розподілу між компонентами екосистеми. Отримані результати формують наукове підґрунтя для удосконалення системи управління плантаційними лісами в субтропічних умовах [39].

Китайським науковцями також було досліджено вплив депонування нітрогену та його екологічні наслідки, які для лісових екосистем набули глобального значення, оскільки азот є ключовим чинником регулювання продуктивності та кругообігу вуглецю [41].

Плантаційні ліси відіграють важливу роль у пом'якшенні наслідків зміни клімату завдяки здатності асимілювати атмосферний CO₂, проте вплив підвищеного надходження азоту на чисту екосистемну продуктивність залишається недостатньо з'ясованим. Польові дослідження, розпочались у 2009 р. у Лісовому центрі Сайханба (провінція Хебей, Північний Китай),

охоплювали чотири варіанти азотного внесення (0, 5, 10 і 15 г N·м⁻²·рік⁻¹). Оцінювали чисту первинну продукцію та чисту продукцію екосистем, ґрунтове дихання, його автотрофні та гетеротрофні компоненти, а також вміст карбону та нітрогену у тканинах рослин, мікробну біомасу, ферментативну активність і рН ґрунту [41].

Результати засвідчили, що додавання азоту істотно підвищує чисту первинну продукцію та NEP, зокрема остання зросла з 149 до 426,6 г С·м⁻²·рік⁻¹. Автотрофне дихання збільшувалося зі зростанням доз азоту, тоді як гетеротрофне знижувалося, що, ймовірно, пов'язано зі зміною ефективності використання вуглецю мікробними угрупованнями, а не з варіаціями кореневої біомаси чи кислотності ґрунту.

Отримані результати засвідчили, що короткострокове азотне підживлення може суттєво підсилювати функцію плантаційних лісів як потужних поглиначів вуглецю, не викликаючи помітних змін у структурі мікробіоти чи ферментативній активності ґрунту [41].

Лісовий покрив Австралії охоплює близько 134 млн га, що становить 17% площі суші країни [31]. Ліси виконують ключову функцію у вуглецевому циклі, акумулюючи вуглець через процес фотосинтезу, під час якого дерева засвоюють атмосферний CO₂. Карбон зберігається у фітомасі у вигляді органічних сполук – переважно вуглеводів (целюлози, геміцелюлози) та лігніну. Одна тонна зв'язаного вуглецю еквівалентна 3,67 тонни CO₂, вилученого з атмосфери. Загальні запаси вуглецю в австралійських лісах становлять близько 10,5 млрд т С (без урахування ґрунтових запасів), що відповідає 38,5 млрд т CO₂, або приблизно 77-кратному обсягу річних викидів парникових газів країни (станом на 2021 р.). Крім того, близько 11,5 млрд т С міститься у ґрунтових горизонтах. Основна частка вуглецевого пулу (98,8%) припадає на місцеві ліси, з яких 83% представлені формаціями евкаліптів і акацій. Вони охоплюють заповідні території, державні багатофункціональні ліси та приватні земельні ділянки. Плантаційні ліси, що становлять лише 1,2%, складаються переважно з *Pinus radiata* (м'які породи)

та видів евкаліпта (тверді породи). Станом на 2016 рік виробничі місцеві ліси акумулювали близько 3 млрд т С, тоді як плантаційні ліси – 258 млн т С, з яких 57% припадає на хвойні, а 43% – на листяні породи [31].

Дослідження японських вчених стосувалось комплексної оцінки запасів вуглецю в сухостійній (мертвій) деревині лісів Японії за період 2011–2015 рр., що дозволило уточнити просторово-часову динаміку вуглецевих пулів. Було проаналізовано вміст вуглецю в повалених колодах, пнях і корчах, які формують основну частку сухостою, виявлено істотні відмінності між ними. Встановлено, що штучні (культивовані) ліси Японії акумулюють більші запаси вуглецю, ніж природні, що зумовлено накопиченням повалених стовбурів унаслідок відсутності їх видалення під час господарських робіт [30].

На запаси вуглецю впливали такі чинники, як форма власності лісів, домінуючі породи, інтенсивність лісогосподарських заходів, обсяг деревини та рельєф місцевості. Очікується, що у майбутньому обсяги сухостою зазнають істотних змін у зв'язку з трансформацією лісової політики та ринку деревини. Точніше визначення запасів вуглецю в цій фракції є важливим для досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 р. та розвитку ринку вуглецевих кредитів відповідно до Цілей сталого розвитку [30].

В Ефіопії було проведено порівняльну оцінку вуглецевого потенціалу та регенераційної здатності природних і плантаційних лісів у спеціальному районі Дераше, Південно-Західна Ефіопія [36]. Збір даних здійснено на 90 пробних площах різного масштабу для дерев, підросту та ґрунтових компонентів. Запаси вуглецю в біомасі визначали за допомогою алометричних рівнянь, а вміст органічного вуглецю ґрунту (SOC) – у трьох глибинах профілю (0–30 см). Середня щільність запасів вуглецю біомаси у природних лісах становила $271,57 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, що дещо перевищує показник плантаційних лісів ($259,23 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$). Статистично значущих відмінностей у вмісті вуглецю надземної, підземної та сухостійної біомаси не виявлено,

однак встановлено достовірні різниці у вмісті вуглецю в підстилці, трав'янистій рослинності та пнях [36].

Оцінка регенераційного потенціалу показала недостатню кількість саджанців і підросту порівняно зі зрілими деревами як у природних, так і в плантаційних лісах, що свідчить про ознаки деградації екосистем. Загальний запас вуглецю у лісі Гардула становить $530,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Отримані результати підтверджують, що обидва типи лісів відіграють суттєву роль у секвестрації вуглецю та роблять внесок у національні й глобальні кліматичні ініціативи [36].

В Індії досліджено відмінності у поглинанні та зберіганні карбону між природними лісами та монодомінантними плантаціями у Західних Гатах [28]. Запаси вуглецю у плантаціях тика та евкаліпта були на 30–50% нижчими, ніж у природних вічнозелених лісах, а темпи його поглинання у плантаціях були менш стабільними, особливо під час посух. Багатовидові ліси демонструють більшу стабільність та стійкість до кліматичних коливань, забезпечуючи надійніше поглинання вуглецю. Природне відновлення лісів або багатовидові плантації місцевих дерев є більш ефективними для пом'якшення зміни клімату та підтримки екосистемних послуг [28].

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Природно-кліматичні умови регіону дослідження

Клімат району розміщення архівно-маточної плантації помірно-континентальний і характеризується порівняно м'якою зимою, теплим літом і значною кількістю опадів. Із кліматичних факторів, що негативно впливають на ріст і розвиток лісових насаджень є пізні весняні та ранні осінні заморозки. Загалом кліматичні фактори сприятливі для ведення лісового господарства. Це підтверджується наявністю насаджень високих бонітетів: сосни, дуба, берези, вільхи. Територія Ковельського надлісництва за характером рельєфу відноситься до рівнинних. За ступенем вологості більша частина ґрунтів відноситься до свіжих [23].

2.2. Об'єкт і методика досліджень

У нашому дослідженні були використані результати вимірювань архівно-маточної плантації сосни звичайної Ковельського лісництва (рис. 2.1). Плантація створена восени 1981 р., площа 1,8 га. Розміщення посадкових місць – 8 х 8 м, рядами. Клони введено з плюсових дерев Шацького національного природного парку (Шс-8, 11-15) і ДП „Шацьке учбово-досвідне лісове господарство” (Шш-19–21, 23, 25–27). Тип лісорослинних умов – свіжий субір, ґрунт – дерново-підзолистий супіщаний, рельєф рівнинний. Підготовка ґрунту після реконструктивної рубки здійснювалась шляхом розкорчовування та виривання пнів підричним способом, планування, глибокої оранки, дискування та боронування [20].



Рис. 2.1. Архівно-маточні плантації у Ковельському лісництві

Висоту дерев вимірювали висотоміром, діаметр – на висоті 1,3 м за допомогою мірної вилки.

Депонування вуглецю обраховували за методикою П. І. Лакиди з співавт. [22].

Вартісна оцінка екосистемних послуг і наукового значення архівно-маточної плантації проводилась за методикою, описаною В. Андрєвою зі співавт. [2].

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати обрахунків компонентів надземної фітомаси дерев клонів сосни звичайної Шацької ценопопуляції, які ростуть в Ковельському лісництві у віці 44 роки, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Компоненти надземної фітомаси дерев клонів сосни звичайної

Назва клону	Діаметр, см	Висота, м	Надземна фітомаса дерева, кг	Фітомаса стовбура, кг	Фітомаса деревної зелені, кг	Фітомаса хвої дерева, кг	Делінований вуглець у дереві, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
Шс-8	36	18,6	451	342	105	30	223
	55	23,1	1230	926	255	73	601
	58	26,6	1499	1181	247	71	731
	51	24,6	1094	860	191	55	535
	57	23,6	1370	1029	282	81	668
	53	23,6	1170	895	228	66	572
	46	20,6	806	602	185	53	396
	48	22,6	924	711	183	52	453
	47	20,6	853	633	199	57	419
В середньому			1044	798	208	60	511
Шс-11	53	22,6	1128	848	238	68	551
	50	20,1	927	673	234	67	454
	56	22,6	1275	946	280	80	623
	45	20,1	749	558	177	51	368
	46	22,1	826	636	165	47	405
	36	22,6	493	407	79	23	244
	46	21,1	793	600	172	49	389
	44	24,6	790	644	124	36	388
	28	19,6	281	230	50	14	140

Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
В середньому			807	616	169	48	396
Шс-12	42	21,6	679	529	133	38	334
	36	21,6	490	396	86	25	242
	47	21,6	864	655	183	53	424
	48	18,6	818	580	233	67	401
	37	21,6	518	416	93	27	255
	44	22,6	776	609	145	42	381
	47	22,6	873	676	169	49	428
В середньому			717	551	149	43	352
Шс-13	38	17,6	496	362	134	39	245
	44	17,6	655	464	195	56	322
	37	19,6	490	378	106	30	242
	33	19,6	390	308	78	22	193
	49	23,6	987	769	182	52	483
	48	22,6	911	702	179	51	447
	43	24,6	765	626	119	34	376
	31	23,6	365	318	48	14	181
В середньому			632	491	130	37	311
Шс-14	36	22,6	493	407	79	23	244
	37	20,6	504	397	99	28	249
	51	22,6	1044	792	215	62	511
	40	21,1	608	474	121	35	299
	33	20,6	393	318	71	20	194
	32	20,6	369	301	65	19	183
	38	20,6	541	423	109	31	267
	39	20,1	553	426	118	34	273
	41	21,6	647	507	125	36	319
	35	18,6	426	325	98	28	211
В середньому			558	437	110	32	275
Шс-15	29	19,6	301	245	55	16	150
	39	21,6	585	464	109	31	289
	36	20,6	477	378	92	26	236
	33	21,6	403	333	66	19	200
	37	18,6	485	365	116	33	239
	40	20,1	592	452	129	37	291

Продовження табл.3.1

В середньому			474	373	95	27	234
Шш-19	50	23,6	1041	807	195	56	510
	35	21,1	466	374	85	24	230
	32	20,6	369	301	65	19	183
	32	20,6	377	306	67	19	187
	39	22,1	583	467	103	30	287
	37	20,1	488	381	100	29	241
	38	20,6	541	423	109	31	267
В середньому			552	437	103	30	272
Шш-20	55	22,6	1215	906	263	75	594
	42	23,6	725	585	121	35	356
	43	21,6	723	559	145	42	355
	50	20,6	953	698	231	66	467
	46	23,6	844	670	148	42	414
	43	21,6	701	544	139	40	345
	52	20,6	1017	740	252	72	498
В середньому			883	672	185	53	433
Шш-21	54	22,6	1186	887	254	73	579
	38	24,6	577	487	82	23	284
	47	22,1	863	661	175	50	423
	45	24,1	823	661	137	39	404
	43	21,6	712	552	142	41	350
	39	22,6	611	492	105	30	301
	50	23,6	1041	807	195	56	510
	66	25,6	1903	1433	368	106	925
	63	25,1	1751	1318	343	98	852
В середньому			1052	811	200	57	514
Шш-23	43	21,6	712	552	142	41	350
	39	20,6	551	429	111	32	272
	49	22,6	963	737	193	55	472
	44	22,6	765	601	142	41	376
	45	22,1	790	612	155	45	388
	42	21,6	679	529	133	38	334
	45	21,6	780	598	160	46	383
В середньому			749	580	148	43	368

Продовження табл.3.1

Шш-25	54	23,6	1215	925	240	69	593
	52	22,6	1099	829	230	66	538
	48	22,6	911	702	179	51	447
	49	23,6	973	760	179	51	477
	49	23,6	987	769	182	52	483
	53	22,6	1128	848	238	68	551
	38	22,6	550	448	91	26	271
	51	23,1	1070	818	212	61	524
	45	22,6	800	625	151	43	393
В середньому			970	747	189	54	475
Шш-26	51	19,6	964	689	260	75	472
	46	20,6	818	610	188	54	401
	48	21,6	889	671	190	55	436
	41	20,6	641	491	136	39	315
	54	22,6	1186	887	254	73	579
	40	21,6	626	492	119	34	308
	45	22,6	788	617	148	42	387
	42	20,6	672	512	145	42	331
	36	19,6	464	360	98	28	229
	50	21,6	978	731	216	62	479
В середньому			802	606	176	50	394
Шш-27	38	22,6	550	448	91	26	271
	47	23,6	920	723	166	48	451
	43	21,6	701	544	139	40	345
	43	20,6	683	519	148	43	336
	40	20,6	600	463	125	36	295
	39	21,1	558	439	108	31	275
	34	21,6	437	357	74	21	216
	37	20,6	495	390	96	28	244
	38	20,6	522	410	104	30	258
	44	23,1	762	605	135	39	375
	39	22,6	580	470	98	28	286
В середньому			619	488	117	34	305
По плантації			766	591	154	44	376

На основі біометрії діаметрів і висот дерев клонів сосни звичайної шацької фітопопуляції на 44-річній архівно-маточній плантації з розміщенням дерев 8 на 8 м, встановлення показників фітомаси компонентів дерева (додаток А), їх статистичного обрахунку встановлено наступне. Середня надземна фітомаса дерева досліджуваної фітопопуляції становить $765,8 \pm 28,37$ кг (при $s = 296,16$ кг, $V = 38,7$ %, $P = 3,7$ % (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Варіаційно-статистичні показники надземної фітомаси дерева у клонів

Варіант	$M \pm m$, кг	s , кг	V , %	P , %	t
Шс-8	$1044,0 \pm 107,06$	321,18	30,8	10,3	2,51
Шс-11	$806,9 \pm 99,74$	299,22	37,1	12,4	0,40
Шс-12	$716,8 \pm 60,26$	159,43	22,2	8,4	-0,74
Шс-13	$632,4 \pm 83,52$	236,23	37,4	13,2	-1,51
Шс-14	$557,7 \pm 60,95$	192,75	34,6	10,9	-3,10
Шс-15	$473,8 \pm 45,20$	110,72	23,4	9,5	-5,47
Шш-19	$552,1 \pm 86,77$	229,58	41,6	15,7	-2,34
Шш-20	$882,6 \pm 72,12$	190,82	21,6	8,2	1,51
Шш-21	$1051,8 \pm 160,53$	481,60	45,8	15,3	1,75
Шш-23	$748,6 \pm 47,38$	125,36	16,7	6,3	-0,31
Шш-25	$970,4 \pm 66,71$	200,13	20,6	6,9	2,82
Шш-26	$802,5 \pm 66,71$	210,96	26,3	8,3	0,51
Шш-27	$619,0 \pm 41,61$	138,01	22,3	6,7	-2,92
Середнє	$765,8 \pm 28,37$	296,16	38,7	3,7	-

Дисперсійним аналізом (рис.3.1) встановлено істотність різниці клонів сосни за надземною фітомасою дерева ($F = 4,8980$, $p = 0,00000$).

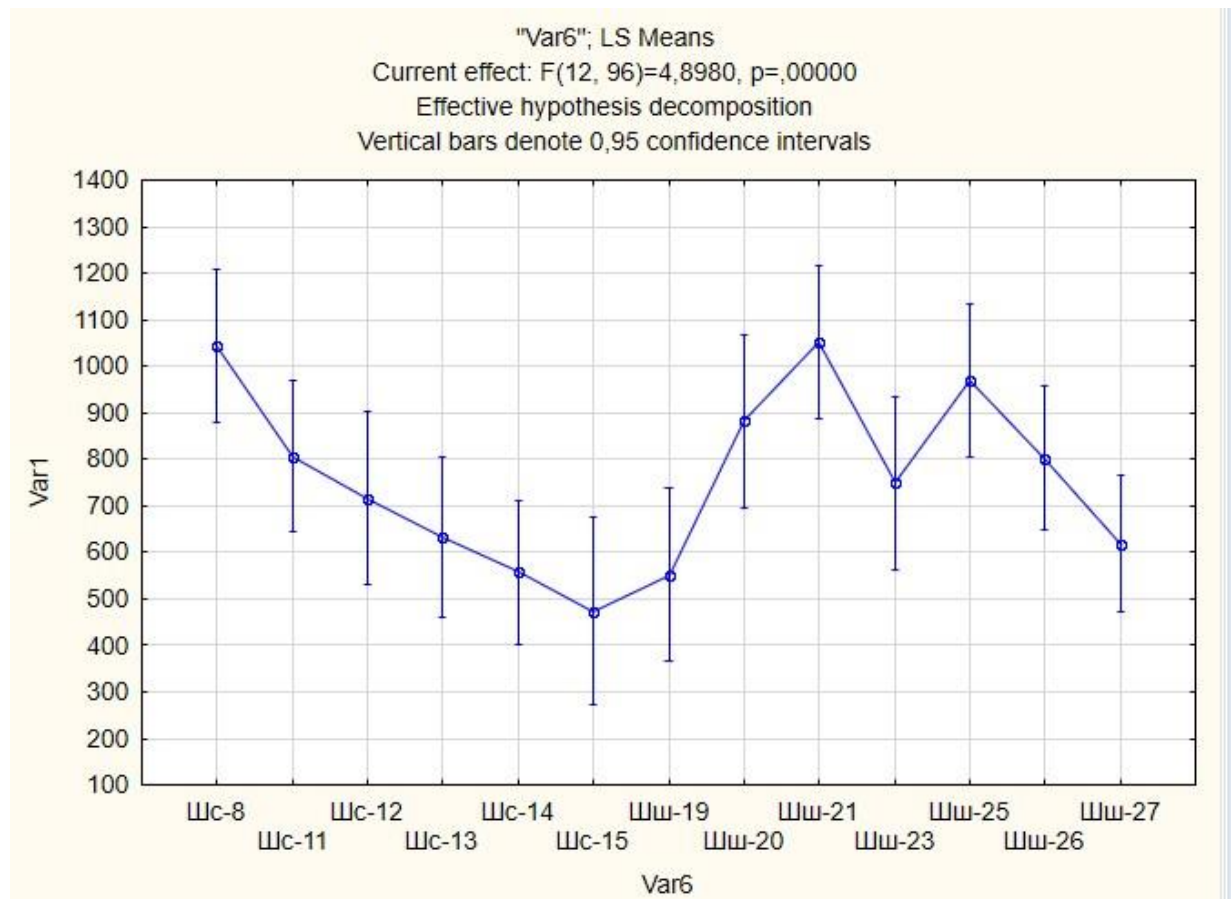


Рис. 3.1. Істотність різниці за надземною фітомасою дерева (в кг) у клонів сосни за дисперсійним аналізом

Показник Ст'юдента (t) також підтверджує істотні відмінності клонів за цими даними. Кілька клонів (Шс-8 та Шш-25, або 15,4 % від загальної кількості клонів), істотно перевищують середні дані по плантації за надземною фітомасою дерева в середньому на 241,4 кг або на 31,5 %. Ще ряд клонів (Шс-14, Шс-15, Шш-19, Шш-27, або 30,8 %), виявляють істотно нижчі показники від середніх даних шацької фітопопуляції в середньому на 215,2 кг або на 28,1 %.

Подібну ситуацію спостерігаємо з показником фітомаси стовбура в корі, який становить в середньому 77,1 % надземної фітомаси дерева (табл. 3.3).

Середня фітомаса стовбура в корі клонів даної фітопопуляції становить $590,7 \pm 20,93$ кг, при $s = 218,48$ кг, $V = 37,0$ %, $P = 3,5$ %.

Таблиця 3.3

Варіаційно-статистичні показники фітомаси стовбура в корі у клонів сосни

Варіант	$M \pm m$, кг	s, кг	V, %	P, %	t
Шс-8	797,5 $\pm$ 84,23	252,68	31,7	10,6	2,38
Шс-11	615,8 $\pm$ 71,03	213,09	34,6	11,5	0,34
Шс-12	551,4 $\pm$ 41,84	110,70	20,1	7,6	-0,84
Шс-13	491,0 $\pm$ 64,56	182,59	37,2	13,1	-1,47
Шс-14	436,8 $\pm$ 44,75	141,50	32,4	10,2	-3,12
Шс-15	372,7 $\pm$ 32,91	80,61	21,6	8,8	-5,59
Шш-19	436,9 $\pm$ 65,56	173,46	39,7	15,0	-2,23
Шш-20	671,7 $\pm$ 48,02	127,06	18,9	7,1	1,55
Шш-21	810,9 $\pm$ 116,01	348,03	42,9	14,3	1,87
Шш-23	579,7 $\pm$ 35,39	93,64	16,2	6,1	-0,27
Шш-25	747,2 $\pm$ 47,19	141,57	18,9	6,3	3,03
Шш-26	606,0 $\pm$ 47,30	149,56	24,7	7,8	0,30
Шш-27	488,2 $\pm$ 31,73	105,25	21,6	6,5	-2,70
Середнє	590,7 $\pm$ 20,93	218,48	37,0	3,5	-

За дисперсійним аналізом (рис. 3.2) істотність різниці клонів сосни за фітомасою стовбура в корі – $F = 5,0281$ при $p = 0,00000$. Показник Ст'юдента (t) підтверджує істотні відмінності клонів за цими даними. Клони Шс-8 та Шш-25, або 15,4 % від загальної кількості клонів, істотно перевищують середні дані по плантації за фітомасою стовбура в корі в середньому на 181,6 кг або на 30,7 %. Клони Шс-14, Шс-15, Шш-19, Шш-27 (30,8 %) істотно нижчі за цим показником від середніх даних по плантації в середньому на 157,0 кг або на 26,6 %.

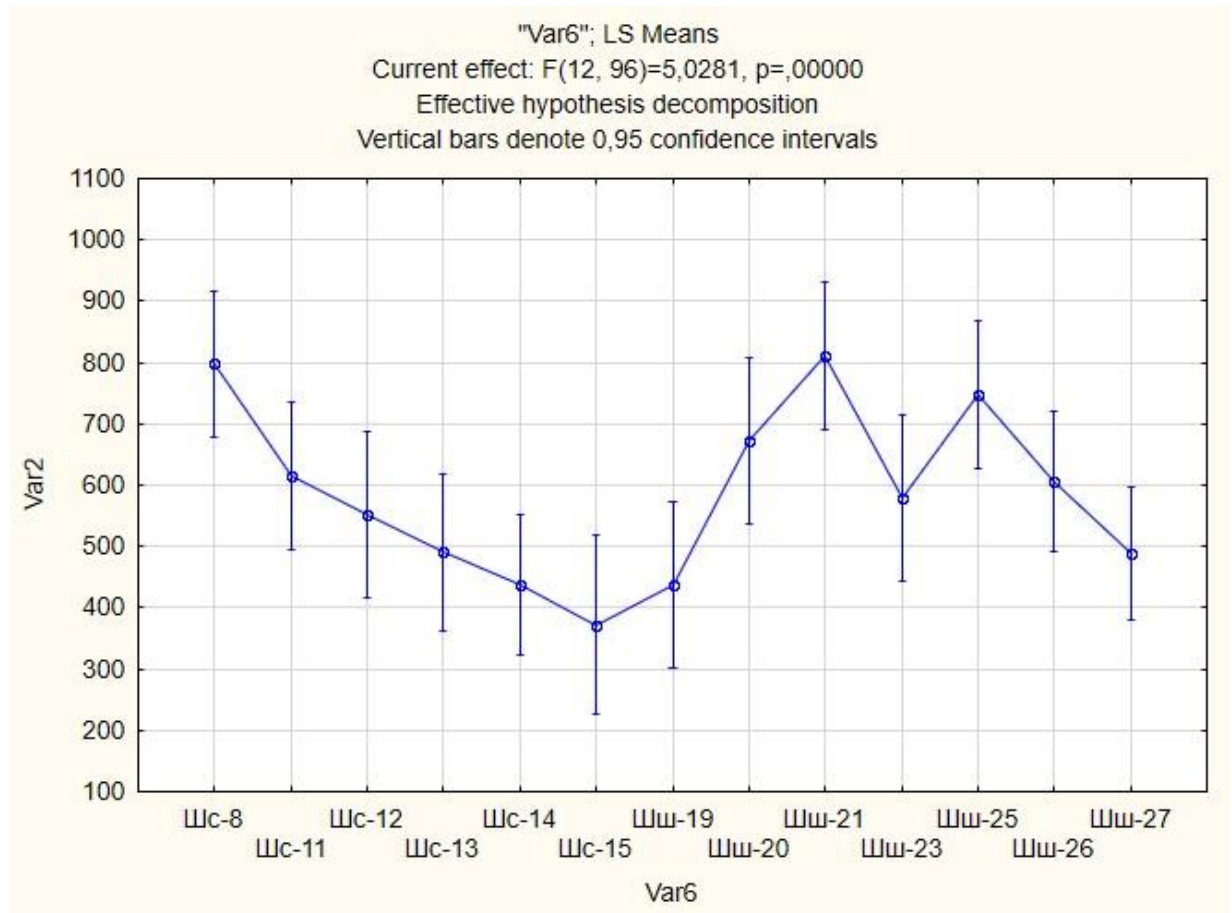


Рис. 3.2. Істотність різниці за фітомасою стовбура в корі (в кг) у клонів сосни за дисперсійним аналізом

Середня фітомаса деревної зелені на одне дерево у клонів даної фітопопуляції становить $153,6 \pm 6,16$ кг при $s = 64,35$ кг, $V = 41,9\%$, $P = 4,0\%$ (табл. 3.4).

Істотність різниці клонів сосни за фітомасою деревної зелені за показником Фішера – $F = 4,0125$ при $p = 0,00005$ (рис.3.3). Показник Ст'юдента підтверджує істотні відмінності клонів за цими даними. Клони Шс-8 та Шш-25 істотно перевищують середні дані по плантації за фітомасою деревної зелені в середньому на 45,1 кг або на 29,4 %. Такі клони як Шс-14, Шс-15, Шш-19, Шш-27 виявляють істотно нижчі показники від середніх даних досліджуваної фітопопуляції в середньому на 47,5 кг або на 30,9 %.

Таблиця 3.4

Варіаційно-статистичні показники фітомаси деревної зелені у клонів сосни

Варіант	$M \pm m$, кг	s, кг	V, %	P, %	t
Шс-8	208,4 $\pm$ 17,35	52,06	25,0	8,3	2,98
Шс-11	168,8 $\pm$ 25,21	75,64	44,8	14,9	0,58
Шс-12	148,9 $\pm$ 19,57	51,77	34,8	13,1	-0,23
Шс-13	130,2 $\pm$ 18,63	52,70	40,5	14,3	-1,20
Шс-14	109,8 $\pm$ 13,39	42,34	38,6	12,2	-2,97
Шс-15	94,6 $\pm$ 11,84	29,00	30,7	12,5	-4,42
Шш-19	103,4 $\pm$ 16,66	44,09	42,6	16,1	-2,83
Шш-20	185,4 $\pm$ 22,86	60,47	32,6	12,3	1,34
Шш-21	200,2 $\pm$ 33,95	101,85	50,9	17,0	1,35
Шш-23	148,0 $\pm$ 9,60	25,39	17,2	6,5	-0,49
Шш-25	189,1 $\pm$ 16,02	48,05	25,4	8,5	2,07
Шш-26	175,6 $\pm$ 17,60	55,66	31,7	10,0	1,18
Шш-27	116,7 $\pm$ 8,40	27,86	23,9	7,2	-3,55
Середнє	153,6 $\pm$ 6,16	64,35	41,9	4,0	-

Середня фітомаса хвої на одне дерево у клонів даної плантації становить $44,1 \pm 1,77$ кг при $s = 18,44$ кг, $V = 41,8$ %, $P = 4,0$ % (табл. 3.5). Дисперсійним аналізом (рис. 3.4) встановлено істотність різниці клонів сосни за фітомасою хвої дерева у клонів сосни ($F = 3,9734$, $p = 0,00006$). За показником Ст'юдента також встановлено істотні відмінності клонів за цими даними (табл. 3.4). Ті ж клони Шс-8 та Шш-25 істотно перевищують середні дані по плантації за фітомасою хвої дерева в середньому на 13,0 кг або на 29,5 %. Ще ряд клонів (Шс-14, Шс-15, Шш-19, Шш-27), виявляють істотно нижчі показники від середніх даних шацької фітопопуляції в середньому на 13,6 кг або на 30,9 %.

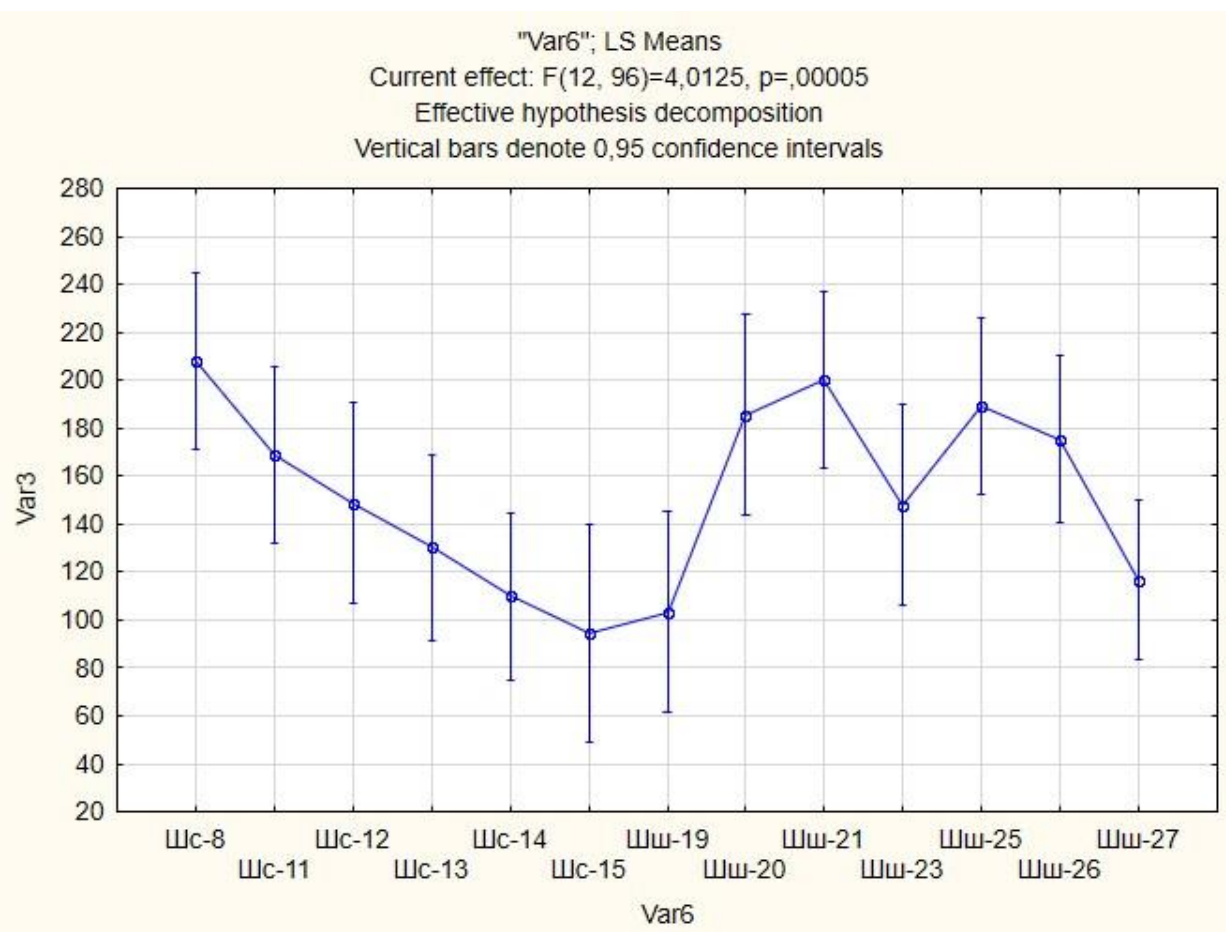


Рис. 3.3. Істотність різниці за фітомасою деревної зелені (в кг) у клонів сосни за дисперсійним аналізом

Таблиця 3.5

Варіаційно-статистичні показники фітомаси хвої дерева у клонів сосни

Варіант	$M \pm m$, кг	s, кг	V, %	P, %	t
1	2	3	4	5	6
Шс-8	59,8 $\pm$ 4,97	14,91	24,9	8,3	2,98
Шс-11	48,5 $\pm$ 7,23	21,68	44,7	14,9	0,58
Шс-12	42,8 $\pm$ 5,61	14,85	34,7	13,1	-0,23
Шс-13	37,4 $\pm$ 5,34	15,12	40,4	14,3	-1,19
Шс-14	31,5 $\pm$ 3,84	12,14	38,5	12,2	-2,97

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
Шс-15	27,2 ± 3,40	8,32	30,6	12,5	-4,42
Шш-19	29,7 ± 4,78	12,64	42,5	16,1	-2,83
Шш-20	53,2 ± 6,55	17,33	32,6	12,3	1,34
Шш-21	57,4 ± 9,72	29,16	50,8	16,9	1,35
Шш-23	42,5 ± 2,75	7,27	17,1	6,5	-0,49
Шш-25	54,3 ± 4,59	13,77	25,4	8,5	2,07
Шш-26	50,4 ± 5,04	15,95	31,6	10,0	1,18
Шш-27	33,5 ± 2,41	7,99	23,8	7,2	-3,55
Середнє	44,1 ± 1,77	18,44	41,8	4,0	-

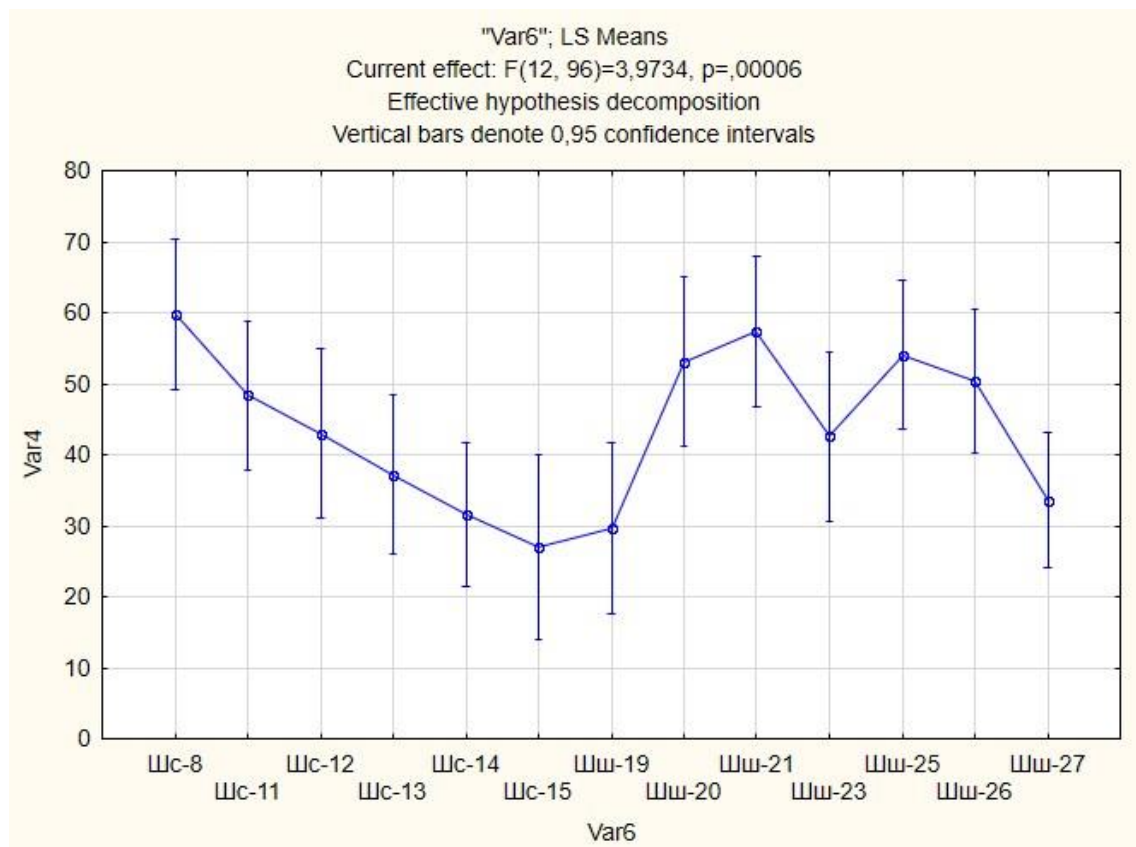


Рис. 3.4. Істотність різниці за фітомасою хвої дерева (в кг) у клонів сосни за дисперсійним аналізом

Середня кількість депонованого вуглецю в дереві у клонів шацької фітопопуляції становить $375,9 \pm 13,75$ кг при $s = 143,58$ кг, $V = 38,2$ %, $P = 3,7$ % (табл. 3.6).

Встановлено істотність різниці клонів сосни за показником депонованого вуглецю у дереві за Фішером – $F = 49029$ при $p = 0,00000$ (рис.3.5). Показник Ст'юдента також підтверджує істотні відмінності клонів за цими даними (табл. 3.5). Кілька клонів (Шс-8 та Шш-25, або 15,4 % від загальної кількості клонів) істотно перевищують середні дані по плантації за показником депонованого вуглецю в дереві в середньому на 117,1 кг або на 31,2 %. А такі клони як Шс-14, Шс-15, Шш-19, Шш-27 (30,8 %) виявляють істотно нижчі показники від середніх даних шацької фітопопуляції в середньому на 104,5 кг або на 27,8 %.

Таблиця 3.6

Варіаційно-статистичні показники депонованого вуглецю в дереві клонів сосни звичайної

Варіант	$M \pm m$, кг	s , кг	V , %	P , %	t
Шс-8	$510,8 \pm 51,87$	155,62	30,5	10,2	2,51
Шс-11	$395,8 \pm 48,43$	145,30	36,7	12,2	0,40
Шс-12	$352,3 \pm 29,28$	77,47	22,0	8,3	-0,73
Шс-13	$311,2 \pm 40,63$	114,93	36,9	13,1	-1,51
Шс-14	$274,9 \pm 29,63$	93,69	34,1	10,8	-3,09
Шс-15	$234,0 \pm 22,08$	54,08	23,1	9,4	-5,45
Шш-19	$272,1 \pm 42,18$	111,61	41,0	15,5	-2,34
Шш-20	$432,8 \pm 34,91$	92,35	21,3	8,1	1,52
Шш-21	$514,3 \pm 77,53$	232,58	45,2	15,1	1,76
Шш-23	$367,8 \pm 23,01$	60,88	16,6	6,3	-0,30
Шш-25	$475,3 \pm 32,33$	96,99	20,4	6,8	2,83
Шш-26	$393,8 \pm 32,36$	102,32	26,0	8,2	0,51
Шш-27	$304,8 \pm 20,24$	67,12	22,0	6,6	-2,91
Середнє	$375,9 \pm 13,75$	143,58	38,2	3,7	-

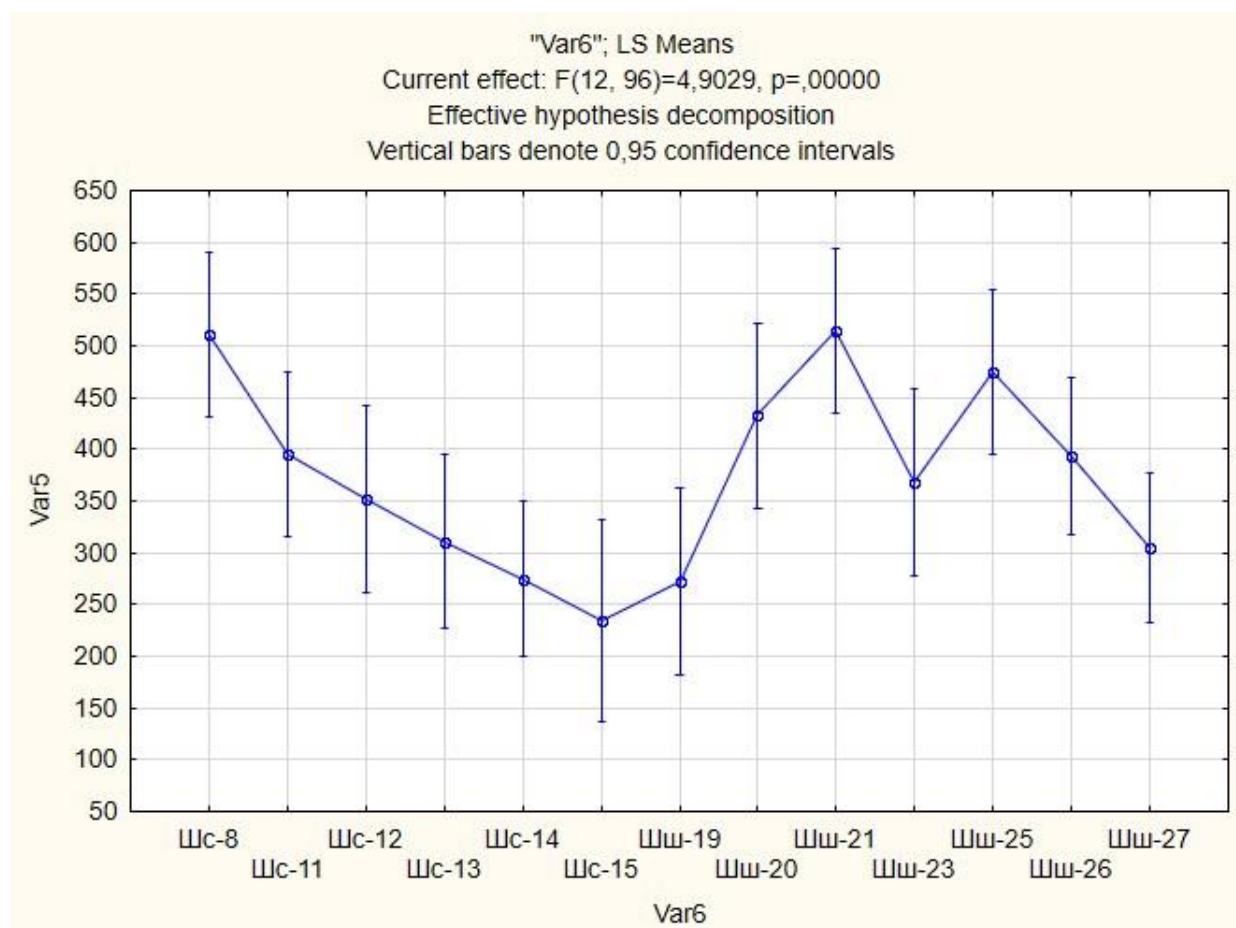


Рис. 3.5. Істотність різниці за кількістю депонованого вуглецю в дереві клонів сосни звичайної (в кг) за дисперсійним аналізом

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Залежно від мети проведення вартісної оцінки та напрямів подальшого використання її результатів застосовують два основні підходи. Інтегральна вартісна оцінка екосистемних послуг (ІВОЕП) та вартість біорізноманіття використовуються тоді, коли необхідно обґрунтувати вибір між альтернативними сценаріями використання природних ресурсів і оцінити загальний внесок екосистем у соціально-економічну сферу. Поелементна вартісна оцінка (ПВОЕП), навпаки, має прикладний характер і використовується для аналізу окремих соціально важливих нетоварних екосистемних послуг або для зіставлення отриманих результатів з міжнародними оцінками.

Інтегральна оцінка базується на положеннях теорії екологічної ренти та принципі альтернативної вартості, що враховує ефективність відтворення природних ресурсів як у економічному, так і в екологічному вимірах. Поелементний підхід ґрунтується на визначенні величини депонування CO₂ лісовими та болотними екосистемами, аналізі їх водоочисних (сорбційних) властивостей, а також оцінці асиміляційного потенціалу лісових угруповань.

Розрахунок щорічної інтегральної вартісної оцінки проводиться окремо для чотирьох головних типів природних екосистем – лісових, лучних, болотних та водних.

Загалом, загальна економічна цінність лісів, що мають наукове значення, вища в 1,56 рази порівняно з експлуатаційними лісами. Чим більшу площу має насадження, тим різниця вартості у нього мала б бути більша. Інтегральна вартісна оцінка екосистемних послуг для досліджуваної ділянки становить 9422,5 грн. рік, що в розрахунку на 1 га площі лісової екосистеми складає 5234,7 грн. / га в рік (табл. 4.1).

Ціна формується ринком (європейська система торгівлі викидами, EU ETS) і в 2022 році коливалась в діапазоні від 58 до 98 євро/т [5]. Курс євро для розрахунків прийнято 48, 67 грн.

Вартісна оцінка щорічного поглинання діоксиду вуглецю лісовими екосистемами при середній європейській ціні квоти на викид 1 т CO₂ 58 євро/тонну та акумуляції діоксиду вуглецю 5 т / рік становить 190684,2 грн. / га.

Таблиця 4.1

Результати розрахунків вартості екосистемних послуг лісових ділянок

Лісова екосистема	Площа, га	Інтегральна вартісна оцінка екосистемних послуг, грн./рік	Вартісна оцінка щорічного поглинання діоксиду вуглецю лісовими екосистемами, грн./рік	Економічна оцінка первинної продукції екосистеми, грн.
	Архівно-маточна плантація			
Всього	1,8	9422,5	343231,5	345492,0
В розрахунку на 1 га	-	5234,7	190684,2	191940,0

Економічна оцінка продукції первинної екосистеми ділянки становить 345492,0 грн.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Служба охорони праці в філії «Поліський лісовий офіс» ДП «Ліси України» функціонує у складі: начальника Відділу з охорони праці та цивільного захисту (керівник служби охорони праці) та провідних інженерів з охорони праці Відділу з охорони праці та цивільного захисту, які підпорядковуються директору філії «Поліський лісовий офіс» ДП «Ліси України». У кожному надлісництві закріплений за робочим місцем і фактично там працює інженер з охорони праці. В своїй діяльності працівники керуються законодавством України, нормативно-правовими актами з охорони праці, колективним договором та актами з охорони праці, що діють в межах Філії. У надлісництві всі технологічні процеси та види робіт виконуються при безпосередньому дотриманні інструкцій з питань охорони праці та карт технологічного процесу та постійному контролю і моніторингу дотримання трудової та виробничої дисципліни працівниками підприємства [23].

Згідно з наказом Міністерства економіки України «Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки і здоров'я на роботі працівників лісового господарства та під час виконання робіт із зеленими насадженнями» (Наказ від 27.11.2023, № 17953) [21] вказуються загальні вимоги безпеки для лісовпорядних та пошукових експедицій, зокрема підготовка персоналу (наприклад, надання першої домедичної допомоги), заходи під час переходів складною місцевістю (схили, каньйони тощо), наприклад, використання спеціального взуття, подолання водних перешкод, болотистих ділянок, дії працівників під час грози.

Керівники лісовпорядних та пошукових підрозділів разом із представниками підприємств-замовників повинні забезпечити безпечні умови праці всього персоналу, особливо тих, хто виконує польові роботи. На етапі підготовки та під час польових робіт вони мають організовувати заходи для запобігання травматизму та професійним захворюванням.

Працівники, залучені до польових робіт, зобов'язані чітко дотримуватися вимог безпеки, що стосуються всіх операцій – від прорубування просік і встановлення межових знаків до таксаційних робіт, відбору ґрунтових проб, переміщень і піших переходів.

Роботодавець повинен своєчасно організовувати попередні та періодичні медичні огляди працівників відповідно до чинного порядку МОЗ. Для персоналу, який працює в лісових умовах, рекомендовано щорічне повторне обстеження перед початком польового сезону.

Перед виїздом на польові роботи весь склад лісовпорядних і вишукувальних партій має пройти навчання з надання першої домедичної допомоги. Замовник робіт повинен надати керівнику експедиції інформацію про найближчі медичні заклади, де працівники можуть отримати допомогу у разі травмування. До робіт у гірських умовах не допускаються особи молодші 18 років. Роботодавець зобов'язаний забезпечити експедиції всім необхідним спорядженням, засобами захисту, сигналізації та зв'язку, а в районах із значним поширенням гнусу – додатковими спеціальними захисними засобами.

Посадові особи, відповідальні за контроль робіт, повинні регулярно перевіряти стан охорони праці, вимагати усунення порушень і зупиняти роботи, якщо існує загроза життю чи здоров'ю працівників.

Перевезення працівників і вантажів автомобільним транспортом під час лісовпорядних та вишукувальних робіт має здійснюватися з суворим дотриманням правил дорожнього руху [21].

ВИСНОВКИ

1. На основі виконаних польових досліджень на клоновій архівно-маточній плантації сосни звичайної у 44-річному віці та статистичної обробки даних встановлено, що середня надземна фітомаса дерева складає 765,8 кг, середня фітомаса стовбура у корі становить 590,7 кг, середня фітомаса деревної зелені на одне дерево складає 153,6 кг, середня фітомаса хвої – 44,1 кг, середня кількість депонованого вуглецю в дереві становить 375,9 кг. Середній діаметр клонів при цьому становить 43,6 см, середня висота – 21,8 м.

2. Клони Шацької ценопопуляції істотно відрізняються за досліджуваними показниками. До найбільш продуктивних відносяться Шс-8 та Шш-25 (15,4 % від загальної кількості клонів на плантації), до менш продуктивних – Шс-14, Шс-15, Шш-19, Шш-27 (30,8 % від загальної кількості клонів). Інші 53,8 % клонів характеризуються середніми показниками.

3. Архівно-маточна плантація сосни звичайної Шацької ценопопуляції у 44-річному віці характеризується високою здатністю до депонування карбону завдяки значній фітомасі стовбура, деревної зелені та хвої. Виражені відмінності між клонами, зокрема висока продуктивність клонів Шс-8 і Шш-25, підкреслюють селекційний потенціал плантації та її важливу роль як ефективного природного резервуара вуглецю в регіоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ 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. Том 119. Біологія та екологія. 2011. С. 52–55.
2. Андрєєва В., Войтюк В., Кичилук О. Шепелюк М., Гетьманчук А., Деркач В. Економічна оцінка Черемського болота на основі екосистемних послуг. Нотатки сучасної біології, 2021, 1(1), 15.
3. Бойко Т. О., Дементьєва О. І. Значення полезахисних лісосмуг півдня України в адаптації до змін клімату та пошук вирішення проблем їх відновлення та збереження. Збірник тез науково-практичної конференції за участю ФАО «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти». К., 2018. С. 133–136.
4. Василюшин Р.Д., Домашовець Г.С. Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування. Науковий вісник НЛТУ України. 2008, Вип. 18.3. С. 50–58.
5. Впровадження СВМ та його вплив на українські компанії. Режим доступу:
<https://enerhodzherela.com.ua/analytika/%D0%92%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-SVM-%D1%82%D0%B0-%D0%B9%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%B2%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%B2-%D0%BD%D0%B0-%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%97>
6. Гайда Ю., Фучило Я., Брич В., Гайда Т., Борисяк О., Шувар А. Секвестрування діоксиду вуглецю та продукування кисню на плантаціях міскантуса. Економічний аналіз. 2024. Том 34. № 3. С. 144–158.

7. Густі М. І. Математичні моделі процесів емісії та стоку вуглекислого газу в лісовому господарстві та при змінах землекористування. Львів. 2018. 40 с.
8. Гуцол Г. В., Коваленко Н. В. Депонування вуглецю в ґрунтах та його вплив на врожайність сільськогосподарських культур: основні концепції. Таврійський науковий вісник. № 140. 2024. С. 119–124.
9. Іванюк І. Д., Фучило Я. Д., Іванюк Т. М. Оцінка біопродуктивності лісів правобережного Полісся України. Наукові горизонти, 2020, № 04 (89). С. 115–120.
10. Ковбаса Я. В. Депонований вуглець у мортмасі березових насаджень Чернігівщини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво». 2017. Вип. 266. С.
11. Котляревська У. М., Білоус А. М. Депонований вуглець та запас енергії у грубому деревному детриті вільхових лісів українського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України, 2017, т. 27, № 4. С. 39–43.
12. Котляревська У. М., Білоус А. М. Депонований вуглець та запас енергії у грубому деревному детриті вільхових лісів українського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України, 2017, т. 27, № 4. С. 39–43.
13. Лакида П. І, Морозюк О. В., Шамрай А. Є. Фітомаса та депонований вуглець штучних насаджень сосни звичайної у Черкаському Бору. 2013. 10 с.
14. Лакида П. І. Динаміка депонованого вуглецю в лісостанах України. Науковий вісник, 2004, вип. 14.5. С. 140–143.
15. Лакида П. І., Василюшин Р. Д., Домашовець Г. С., Терентьев А. Ю., Лашенко А. Г., Лакида І. П. Біопродуктивність та депонований вуглець соснових насаджень, створених на землях, що вийшли із сільськогосподарського використання. Лісовий журнал. № 2. 2011. С. 53–57.

- 16.Лакида П. І., Матейко І. М. Фітомаса та депонований вуглець дерев і деревостанів ясена звичайного у Правобережному Лісостепу України: [монографія]. К : «ЦП “КОМПРІНТ”», 2016. 254 с.
- 17.Лакида П. І., Шамрай А.Є. Надземна фітомаса та депонований вуглець дерев сосни звичайної у штучних деревостанах черкаського бору. Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.1. С. 8–13.
- 18.Максименко Н. В., Бурченко С. В., Шпаківська І. М., Кротько А. С. Оцінка вуглецевої ємності монопородних деревостанів – елементів зеленої інфраструктури м. Харків. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2022. Вип. 38. С. 73–84.
- 19.Мацала М. С., Білоус А. М. Оцінювання депонованого вуглецю у грубому деревному детриті дубових лісів України. Науковий вісник НЛТУ України, 2017. т. 27, № 6. С. 16–19.
- 20.Мольченко Л. Л., Солтис В. С., Войтюк В. П., Плотніков І. П. Селекційні плантації сосни звичайної на Волині. Луцьк. 1987. 66 с.
- 21.Наказ Мінекономіки від 27.11.2023 р. № 17953 “Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки і здоров’я на роботі працівників лісового господарства та під час виконання робіт із зеленими насадженнями”
Режим доступу:
https://document.vobu.ua/doc/23092?utm_source=chatgpt.com
- 22.Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України / Лакида П.П. та інші. К.: Видавничий дім «ЕКО-інформ», 2011. 192 с.
- 23.План ведення господарства (план лісоуправління) Ковельського надлісництва філії «Поліський лісовий офіс» ДП «Ліси України» на 2025 р. Ковель. 2025. 54 с.
- 24.Ситник С. А. Енергетичний потенціал робінієвих насаджень північного степу України. Науковий вісник НЛТУ України, 2017, т. 27, № 1. С. 79–82.

25. Ситник С. А., Лакида П. І. Фітомаса та депонований вуглець у робінієвих насадженнях північного Степу України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2020. Вип. 136. С. 142–148.
26. Третяк П. Р., Черневий Ю. І. Матеріально-енергетичний вплив лісової рослинності на довкілля. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2020. Т. 21. С. 11–21.
27. Швиденко А., Лакида П., Щепашенко Д., Василишин Р., Марчук Ю. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор. Монографія 2014. 284 с.
28. Anand M Osuri, Abhishek Gopal, T R Shankar Raman, Ruth DeFries, Susan C Cook-Patton, Shahid Naeem. Greater stability of carbon capture in species-rich natural forests compared to species-poor plantations. *Environ. Res. Lett.* 15 (2020) 034011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5f75>
29. Aw e Djongmo Victor, Noiha Noumi Valery, Nyeck Boris, Vroh Bi Tra Aime and Zapfack Louis. Carbon storage in cashew plantations in Central Africa: case of Cameroon. *Carbon management*. 2021, VOL. 12, № 1, 25–35.
30. Ayumi Kawanishi, Yoshimi Sakai, Shigehiro Ishizuka, Shoji Hashimoto, Masabumi Komatsu, Akihiro Imaya, Naoyuki Yamashita, Keizo Hirai, Hitomi Furusawa, Shuhei Aizawa. Increased deadwood carbon stocks through planted forestry practices: insights from a Forest Inventory Survey in Japan. *Carbon management*. 2024 Vol. 15, № 1. P. 1–16.
31. Fabiano Ximenes. NSW DPI. Forests, Plantations, Wood Products & Australia's Carbon Balance. 2023. 31 p.
32. Feshchenko R., Bilous A. Structure of Sequestered Carbon in the Biomass of Forest Stands in the Garden Art Park-Monument of National Significance "Feofania". *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. Vol. 13, No. 2, 2022. С. 58–66.
33. Grant M. Domkea, Sonja N. Oswaltb, Brian F. Waltersa, Randall S. Morinc. Tree planting has the potential to increase carbon sequestration capacity of

- forests in the United States. PNAS. October 6, 2020. Vol. 117. № 40. P. 24649–24651.
34. Ivanov A., Chyngozhoev N., Sariyeva G., Bekbolotova N., Ibrayeva N.. Assessment of carbon store by spruce plantations in forest ecosystems of Kyrgyzstan. BIO Web of Conferences. 2024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004007> *IFBioScFU 2024*
 35. Jianheng Zhao, Xinyuan Wei, Ling Li. The potential for storing carbon by harvested wood products. *Front. For. Glob. Change* 5:1055410. doi: 10.3389/ffgc.2022.1055410 Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2022.1055410/full>
 36. Shetie Gatew, Mekonnen Zerihun. A Comparative Assessment of Carbon Stock Potential and Regeneration Status Between Natural and Plantation Forests in Southwest Ethiopia. Wiley. *International Journal of Forestry Research*. Vol. 2025, Article ID 1597106, 14 p. <https://doi.org/10.1155/ijfr/1597106>
 37. Songbai Hong, Jinzhi Ding , Fei Kan, Hao Xu, Shaoyuan Chen, Yitong Yao, Shilong Piao. Asymmetry of carbon sequestrations by plant and soil after forestation regulated by soil nitrogen. *Nature Communications*. 2023. 14:3196. P. 1–10.
 38. Vincent Onguso Oeba, Samuel Chang Jwok Otor, James Biu Kung’u, Mbae Njugi Muchiri, Larwanou Mahamane. Soil Carbon Sequestration Differentials among Key Forest Plantation Species in Kenya: Promising Opportunities for Sustainable Development Mechanism. *Agriculture, Forestry and Fisheries*. 2018; 7(3). P. 65–74.
 39. Wei-Qi Huang, Bin Xu, Fu-Sheng Chen, Ying-Ying Zong, Xiao-Qing Duan¹, Guang-Xin Zhang, Zi-Jun Wu, Xiang-Min Fang. The effects of vegetation type on ecosystem carbon storage and distribution in subtropical plantations.
 40. Yuanqi Chen, Bohan Zhang, Yu Zhang, Jianping Wu. Editorial: Carbon sequestration in forest plantation ecosystems. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2024. P. 1–3.

41. Zhihong Du, Wei Wang, Wenjing Zeng, Hui Zeng. Nitrogen Deposition Enhances Carbon Sequestration by Plantations in Northern China. PLoS ONE. 2014. 9(2): e87975. doi:10.1371/journal.pone.0087975