

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

На правах рукопису

НОВІК БОГДАН ЮРІЙОВИЧ
РОЗРАХУНОК ДЕПОНУВАННЯ ВУГЛЕЦЮ СЕРЕДНІМ МОДЕЛЬНИМ
ДЕРЕВОМ СОСНИ ЧИСТОГО ЛІСОСТАНУ В УМОВАХ СВІЖОГО БОРУ
ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

Спеціальність 205 «Лісове господарство»
Освітньо-професійна програма «Лісове господарство»
Робота на здобуття освітнього рівня «Магістр»

Науковий керівник :
КИЧИЛЮК ОЛЕКСАНДР
ВОЛОДИМИРОВИЧ,
кандидат сільськогосподарських
наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ
Протокол № ____
засідання кафедри лісового та
садово-паркового господарства
від _____ 2023 р.
Завідувач кафедри
доц. В. Андреева

ЛУЦЬК – 2023

Новік Б.Ю. Розрахунок депонування вуглецю середнім модельним деревом сосни чистого лісостану в умовах свіжого бору Західного Полісся. Луцьк, 2023. 57 с.

Анотація

Дипломна робота присвячена вивченню продуктивності дерев сосни різного віку в чистих насадженнях за компонентами фітомаси та депонованого вуглецю.

Представлено результати моделювання компонентів фітомаси стовбура та крони дерев і деревостанів сосни звичайної у природних насадженнях Західного Полісся України.

Результати дослідження можуть бути використані для покращення стратегій лісового управління та збереження екологічної стійкості лісових екосистем у контексті глобальних змін клімату.

У першому розділі розглянули перспективність дослідження впливу вуглецю та його вплив на клімат. В другому розділі здійснили опис матеріалів та методів дослідження даної роботи. В третьому розділі проаналізували результати дослідження. В четвертому розділі описано підходи до економічної оцінки депонування вуглецю. П'ятий розділ містить в собі аналіз охорони праці на підприємстві.

Висновки за результатами роботи наведені перед списком використаної літератури.

Ключові слова: продуктивність насаджень, фітомаса, депонований вуглець, сосна звичайна, Західне Полісся.

Novik B.Yu. Calculation of carbon deposition by an average model pine tree of a pure forest stand in the conditions of fresh pine of the Western Polissia. Lutsk, 2023. 57 p.

Abstract

The thesis is devoted to the study of the productivity of pine trees of different ages in pure stands according to the components of phytomass and deposited carbon.

The results of modeling the phytomass components of the trunk and crown of Scots pine trees and stands in the natural stands of the Western Polissia of Ukraine are presented.

The results of the study can be used to improve forest management strategies and preserve the ecological sustainability of forest ecosystems in the context of global climate change.

In the first chapter, the perspective of the study of the influence of carbon and its influence on the climate was considered. In the second section, the materials and research methods of this work were described. In the third section, the results of the research were analyzed. The fourth chapter describes approaches to the economic assessment of carbon sequestration. The fifth section contains an analysis of labor protection at the enterprise.

Conclusions based on the results of the work are given before the list of used literature.

Key words: plantation productivity, phytomass, deposited carbon, Scots pine, Western Polissia.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	7
1.1. Поняття депонування вуглецю	7
1.2. Роль лісів у впливі на клімат	8
1.3. Сучасний стан дослідження компонентів біопродуктивності лісів та їхньої динаміки	15
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	19
2.1. Матеріали дослідження	19
2.2. Методика дослідження	22
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	31
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА	40
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	47
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52

ВСТУП

Актуальність. Лісові масиви представляють собою значний економічний та екологічний ресурс завдяки своїм різноманітним функціям. Вони сприяють регулюванню вуглецевого балансу на поверхні землі і відіграють ключову роль у виконанні зобов'язань країн з контролю викидів парникових газів, передбачених Паризькою кліматичною угодою. Згідно з угодою, країнам рекомендується ефективно керувати своїми лісами, реєструвати зміни для належного управління, а також надавати міжнародним організаціям інформацію щодо стану своїх лісів. Активна участь нашої країни в міжнародних ініціативах з питань кліматичних змін та торгівлі квотами на викиди парникових газів обумовлена належністю чітких механізмів контролю, повноти та достовірності звітної інформації. Оцінка динаміки вуглецю в лісових екосистемах визначається як важлива частина роботи національних кадастрів викидів та поглиблення парникових газів. Отже, проблема оцінки активності з вуглецем в лісових насадженнях залишається надзвичайно актуальною

Мета магістерської роботи – проведення комплексного аналізу та розрахунків депонування вуглецю за допомогою середнього модельного дерева сосни в чистому лісостані, який характеризується свіжим бором на території Західного Полісся.

Об'єктом дослідження є процес депонування вуглецю деревами сосни звичайної у чистих різновікових деревостанах природного походження.

Предметом дослідження є біометричні показники середніх модельних дерев сосни звичайної у чистих різновікових деревостанах природного походження на території лісового фонду філії Ковельське лісове господарство Державного спеціалізованого господарського підприємства Ліси України.

Основні завдання:

Провести аналіз наукової літератури з питань депонування вуглецю в лісах.

Провести польові виміри для отримання даних про біометричні показники та вік модельних дерев сосни.

Провести розрахунок депонування вуглецю середнім модельним деревом сосни.

Провести розрахунок кошторису депонованого вуглецю стиглого деревостану.

Наукова новизна: проведені дослідження з визначення депонування вуглецю середнім модельним деревом сосни для Західного Полісся. У роботі отримані результати досліджень свідчать про те, що потенціал лісів Західного Полісся для депонування вуглецю є досить високим. Ці результати важливі для оцінки впливу лісів на клімат і розробки заходів щодо збереження і відновлення лісів.

Методи дослідження: Під час дослідження використовувалися методи аналізу та синтезу, дедукції та індукції, експериментальний, статистичний, математичний, історико-географічний, картографічний.

Практичне значення: Ця робота сприяє розвитку наукового підходу до вивчення вуглецевого обміну в лісових екосистемах та може мати вплив на стратегії лісового управління та збереження природних ресурсів у відповідності до вимог сучасного екологічного стандарту.

Основні положення роботи були апробовані на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку природничих та гуманітарних наук», яка відбулась 10 листопада 2023 року у ВНУ імені Лесі Українки:

Новік Б., Кичилюк О. Розрахунок депонування вуглецю середнім модельним деревом сосни чистого стиглого лісостану в умовах свіжого бору Західного Полісся. *Актуальні проблеми розвитку природничих та гуманітарних наук : збірник матеріалів VII Міжнар. наук. практ. конф. (10 листопада 2023 р.)*. Луцьк, 2023. С. 255-256.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Поняття депонування вуглецю

Депонування вуглецю – це процес вилучення та зберігання вуглецю з атмосфери чи інших джерел, з подальшим його перенесенням назад в екосистеми або технологічні системи. Мета полягає в скороченні викидів парникових газів та мінімізації впливу на зміну клімату. Цей процес передбачає зберігання вуглецю у непродуктивних або природних об'єктах, таких як ліси, ґрунти та глибокі геологічні утворення [8].

Реалізація депонування вуглецю можлива за допомогою різних методів, таких як висадження лісів, зберігання вуглецю в ґрунті чи використання технологічних засобів, наприклад, зберігання вуглецю в підземних резервуарах (континентальних або океанічних) та його перетворення на різні продукти.

Головна мета депонування вуглецю полягає в зниженні концентрації парникових газів в атмосфері та забезпеченні зберігання вуглецю в ізольованих системах. Це сприяє підвищенню стійкості екосистеми та зменшенню негативного впливу людської діяльності на клімат, роблячи депонування вуглецю однією з ключових стратегій у боротьбі зі зміною клімату [11].

Поглинання вуглецю лісами відіграє ключову роль у зменшенні викидів парникових газів та впливає на зміну клімату. Ліси виконують цей важливий процес, перетворюючи атмосферний вуглець на органічні сполуки та утримуючи їх у деревах, ґрунті та інших складових рослин.

Механізм поглинання вуглецю в лісах залучає фотосинтез, коли рослини поглиблюють вуглекислий газ та використовують його для синтезу органічної речовини. Цей вуглець затримується в рослинах, таких як дерева та ґрунт, завдяки опадам та розкладанню органічних решток [18].

Ліси визначають глобальний вуглецевий цикл та функціонують як значущі резервуари вуглецю. Цей процес не лише сприяє зниженню викидів CO₂, але й забезпечує тривале зберігання великих обсягів вуглецю.

Поглиблення вуглецю в лісах вражає своєю ефективністю та грає важливу роль у боротьбі із зміною клімату. Збереження та відновлення лісових екосистем важливі для сталого управління вуглецевими ресурсами та підтримання балансу атмосферних викидів [19].

Особливо важливу роль у цьому відіграє економічний фактор, адже суттєве зменшення викидів двоокису вуглецю може бути досягнуте з відносно невеликими економічними витратами, роблячи це важливим заходом у сфері пом'якшення кліматичних умов.

Ліси відіграють надзвичайно важливу роль у глобальних змінах клімату, адже процес поглинання вуглецю перетворює його на біомасу, зберігаючи приблизно 45% цього елемента в земній біосфері. Зміна клімату впливає на продуктивність лісових екосистем, змінюючи режим опадів і температури, що в свою чергу може призвести до ризиків для лісових ресурсів та змін сільськогосподарських угідь [36].

1.2. Роль лісів у впливі на клімат

З кінця 20 століття і протягом початку 21 століття тема глобальних змін клімату стала однією з найбільш актуальних та міждисциплінарних проблем у географічних та екологічних науках. Ця проблема вирішується на високому політичному рівні, враховуючи її глобальний характер. Особливу увагу заслуговує 64-та сесія Ради Генеральної Асамблеї ООН, присвячена розробці ефективних механізмів протидії сучасним небезпечним викликам, пов'язаним із зміною клімату. Президент України В. Ющенко на цій конференції виступив із пропозицією сформулювати глобальну екологічну конституцію, що має стати основою для нової глобальної екологічної політики 21 століття,

узагальнюючи зобов'язання людей та націй стосовно природи та враховуючи екологічні аспекти [4].

Основний фокус ініціативи полягає в раціональному використанні ресурсів, неприпустимості забруднення та пошкодження навколишнього середовища. Іншими словами, це визначає створення ефективних, науково обґрунтованих економічних механізмів для поліпшення клімату, запобігання природним і техногенним катастрофам та координації їхнього усунення. Згідно з законодавством України, зміна клімату визначається як наслідок діяльності людини, що впливає на склад атмосфери Землі, наріжні процеси клімату та спостережувані зміни протягом порівняльного періоду часу [9].

Глобальні зміни клімату виявляються не лише у підвищенні середньої температури, але і у збільшенні кількості та інтенсивності конкретних явищ, зокрема спекотних днів, посух, повеней, смерчів та швидкого танення снігу, морозів, зсувів, злив.

Експерти визнають, що глобальні зміни клімату виражаються у значних коливаннях різних кліматичних показників. Ефекти глобальної зміни клімату, зокрема підвищена мінливість погоди відзначаються фахівцями академії наук [10].

Зміна клімату означає збільшення хаосу та спрощення природних систем, що, за висновками дослідників, є наслідком термодинамічного закону зростання ентропії. Лісові системи виступають як потужний механізм саморегуляції біосфери, забезпечуючи стійкість в усуненні збурень і пом'якшенні або запобіганні катастрофічним явищам. Отже, ліси виконують ключову роль в системі суспільного розвитку регіонів, впливаючи на геофізичні, геохімічні та інші процеси в ландшафті та забезпечуючи стабілізацію природних процесів в найбільш сприятливих умовах для життя людини. Розуміння того, що ліси виступають як екологічний каркас природних ландшафтів, ключовий стабілізуючий фактор для їхнього сталого розвитку та вирішальний елемент стратегії екологічного виживання, є одним з принципів, які визначають наше існування. Зауважено, що ліси, які займають

30% поверхні суші та складають 93% маси живих організмів у біосфері, є необхідним ресурсом для підтримки біорізноманіття та екосистем.

Згідно з даними ФАО, вирубка лісів на швидкості 20 гектарів на хвилину перевищує розрахункову кількість вирубки лісів у 18 разів, що створює серйозні загрози для природного середовища. Дослідження, проведене DeutscheBank, підтверджує, що втрата лісів коштує світовій економіці від 2 до 5 трильйонів доларів на рік, що вище, ніж втрати, пов'язані з фінансовою кризою [17].

Триваюча тенденція до зменшення лісових площ та зниження їх ресурсного та екологічного потенціалу призводить до серйозних еколого-економічних наслідків, так як зменшується біомаса та продуктивний потенціал біосфери, загрожуючи глобальним фотосинтетичним ресурсам. Здатність лісів регулювати атмосферні умови слабшає, що впливає на водний обіг та режим опадів.

Спрощення регуляторних функцій лісів не лише підсилює вплив випадкових елементів клімату та знижує стабільність, але й вказує на те, що ліси є ключовими джерелами та екологічними резервуарами для біосфери. Ця ситуація може мати негативні біологічні наслідки. Отже, зростає необхідність в розробці та впровадженні заходів для збільшення лісових насаджень, розширення лісових площ та підвищення продуктивності через лісогосподарську діяльність. Узагальнено, важливо збільшити площу лісів, покращити їх розташування та довести існуючу лісистість до оптимального рівня, що є пріоритетом у лісовому господарстві. На жаль, лісистість України наразі становить лише 16,7%, що відстає від науково обґрунтованих норм [22, 41].

Виділяється, що показники лісистості території країни та стану лісів є ключовими для лісогосподарського виробництва і конкретними для оцінки впливу лісів на пом'якшення клімату. Проблема збільшення лісистості в Україні повинна бути вирішена за рахунок пустирів і непродуктивних земель, які неефективно використовуються для сільськогосподарського виробництва.

Наукові дослідження підтверджують, що для збільшення площі лісів можна використовувати приблизно 3,5-4 мільйони гектарів без шкоди для сільського господарства. Сучасне використання потенційних сільськогосподарських ресурсів України характеризується надмірною інтенсивністю, що призводить до деградації земель, виснаження земель має різноманітні негативні екологічні наслідки. Системи захисних насаджень на сільськогосподарських угіддях забезпечено лише на половині площі. Інтенсивність ерозійного процесу продовжує залишатися помітною. Навіть при тому, що майже половина орних земель зараз піддана ерозії, сільськогосподарські підприємства не виявляють інтересу до відведення земель для охоронних насаджень чи полезахисних зон. Ці насадження, в основному через відсутність правового захисту та недооцінку їхньої ролі в агролісомеліорації, більшість часу руйнуються або характеризуються зниженою ефективністю поліпшення лісів. Збалансування земельно-територіальних систем вимагає також широкомасштабних змін у галузі лісогосподарського виробництва, коригування обсягів лісокористування а також відновлення та охорони лісів, що є важливим для збільшення кількості рослинності в лісах. Збільшення лісистості є ефективним елементом економічної та екологічної безпеки, а також має важливі народногосподарські наслідки. Однак в рамках лісового господарства немає вирішення цієї проблеми, оскільки вона складна. Для успішного вирішення цього питання потрібні спільні зусилля держави, регіональних структур та всіх галузей національного господарства, які користуються продукцією та послугами лісу. Ще одним важливим аспектом для зменшення антропогенного впливу на клімат є інтенсифікація лісонасаджень або підвищення продуктивності біомаси наявних лісових екосистем. На сьогоднішній день сучасні заходи у галузі лісогосподарського виробництва не здатні ефективно забезпечити відновлення та покращення стану лісів. Для досягнення цієї мети необхідно впровадити систему лісогосподарських заходів, серед яких найважливішими є:

- Підвищення ефективності системи протипожежного захисту та оберігання лісових насаджень.

- Зміцнення стійкості лісів до біологічних загроз і захист від шкідників і збудників хвороб. Вдосконалення біологічної продуктивності ключових порід дерев шляхом використання генетичних методів та селекції.

- Раціональне розташування деревинних резервів у територіальному плануванні, активне впровадження систем вибіркового лісового господарювання та удосконалення методів лісозаготівлі.

- Значне підвищення якості та етики лісового господарювання, що використовуються агропромисловим сектором та іншими галузями, та удосконалення їхньої організації.

- Розв'язання питань невизначеності стосовно стану лісів та земель, призначених для заліснення, шляхом розробки відповідних економічно-правових механізмів.

- Забезпечення належного фінансування лісогосподарської діяльності, зокрема розширення лісонасаджень та розвиток лісової інфраструктури.

Протягом останніх десятиліть однією з серйозних проблем, що має прямий вплив на продуктивність лісів, незалежно від рівня лісового господарювання, є виснаження лісових насаджень. Зараз відсутня єдина наукова концепція, яка може пояснити знижену біологічну стійкість лісових насаджень до цих негативних факторів. Хоча неможливо пояснити всі зміни клімату виключно через парниковий ефект, але роль цього явища у цьому процесі визнається [26, 47].

Підписавши Кіотський протокол, Україна взяла на себе зобов'язання обмежити та зменшити викиди парникових газів, а також прийняти заходи для зменшення негативних наслідків зміни клімату. Згідно з угодою, Україна гарантує, що антропогенні викиди парникових газів не перевищуватимуть 922,01 млн тонн CO₂, що є лімітом країни в 1990 році. Зменшення

промислового виробництва призведе до скорочення викидів парникових газів на близько 50% від базового рівня.

Незважаючи на це скорочення, Україна залишається однією з 20 найбільш забруднюючих країн у світі за викидами парникових газів у 2005 році. Україна також використовує міжнародну торгівлю квотами на викиди для отримання значних переваг. Національне агентство екології та інвестицій України планує продати великий обсяг природного газу протягом першого бюджетного періоду дії Кіотського протоколу (2008-2012 рр.) і виділити значні суми для екологічних асигнувань у майбутньому [36, 40].

Існують два основних механізми для впровадження проектів, спрямованих на скорочення викидів парникових газів в Україні. Перший - це проект спільного впровадження, де реципієнт, що знаходиться на території України, укладає угоду з фінансуючою організацією. Другий - це механізм «зелених» інвестицій, що передбачає укладання двосторонніх угод про передачу фіксованих одиниць (UU) CO₂ між Україною та її партнерами.

Україна уклала угоду з Організацією з розвитку енергетичних і промислових технологій (NEDO) та Державним агентством екології та інвестицій України щодо придбання квот на викиди парникових газів в рамках Схеми зелених інвестицій (GIS). Згідно з цією угодою, Японія купує квоти на 30 млн тонн протягом двох років за ціною 10 доларів за тону. Ці кошти використовуються на енергозбереження та зменшення викидів парникових газів.

Партнери, що здійснюють «зелені» інвестиції, повинні бути обережні, щоб уникнути продажу «гарячого повітря» - штучного поліпшення екологічної ситуації. Важливо, щоб отримані кошти були спрямовані на реальні, вимірювані та тривалі позитивні зміни в стані навколишнього середовища та зменшення впливу людини на клімат [49].

Україна розглядає різні напрямки фінансового інвестування, включаючи екологічну освіту, науку та інституційні «невуглецеві» проекти. Однак приділяється особлива увага проектам, спрямованим на зменшення викидів,

таким як енергозбереження та зміни використання земель. Ці напрямки визначаються з урахуванням соціального, економічного та екологічного впливу на місцеві громади та відповідності національним пріоритетам.

Щорічний викид CO₂ у лісовій рослинності становить приблизно 15,4% загальних викидів парникових газів в Україні. Однак, ця цифра коливається від 2, до 309%, з великим розкидом в регіональному контексті. Наприклад, деякі регіони (Закарпатська, Волинська, Рівненська та інші) повністю поглиблюють викиди CO₂ завдяки асиміляційній здатності лісів, тоді як інші регіони (Дніпропетровськ, Запоріжжя та інші) мають низьке поглиблення.

Для вирішення цього питання необхідно визначити пріоритетні регіони для проектів збільшення поглиблення парникових газів і скорочення викидів. Чисте поглиблення було значно вищим за поглиблення CO₂ до 1996 року, але значно знизилося після 1999 року. Це пояснюється агротехнічним процесом, впливом внесення добрив та іншими чинниками.

Ураховуючи критику багатьох вчених щодо принципів Кіотського протоколу та його нератифікації багатьма країнами, зокрема США, стає актуальним перегляд механізму встановлення викидів парникових газів (квот на викиди) в еквіваленті CO₂. Поточні дозволи на викиди ґрунтуються на рівні викидів країн у 1990 році без врахування абсорбції. Ми пропонуємо додати обмеження на поглиблення парникових газів, встановивши рівень абсорбції на рівні 25% щорічних викидів парникових газів для всіх країн.

Це сприятиме не лише запобіганню негативним наслідкам глобального потепління, зменшуючи викиди CO₂, але й дозволить країнам, як розвинутим, так і розвиваючимся, утримати економічне зростання. Проекти, пов'язані з поглибленням парникових газів, визнаються пріоритетними [47, 49].

1.3. Сучасний стан дослідження компонентів біопродуктивності лісів та їхньої динаміки

Київський протокол перший у світі глобальний документ, спрямований на протидію антропогенним змінам клімату. Цей документ визначає зобов'язання наукового співтовариства розробляти стратегії компенсації промислових викидів шляхом біологічної фіксації вуглецю в атмосфері – основного джерела життя на Землі. Такий підхід сприяє глобальному розумінню біології вуглецевого циклу та сприяє здійсненню заходів для зменшення антропогенного впливу на клімат.

Наразі вивчаються різні сценарії наслідків зміни клімату, зокрема, потепління клімату може призвести до накопичення біомаси через лісові насадження. Дослідження, проведені протягом останніх років, вказують на позитивні тенденції у продуктивності лісів, враховуючи окремі винятки. Тим не менше, потепління клімату може впливати на основні деревні породи, вимагаючи адаптивних стратегій для збереження екологічної стійкості. Отже, при розв'язанні важливих еколого-соціологічних проблем головним напрямком вивчення лісових екосистем стало оцінювання їх ключової характеристики - біологічної продуктивності. Визначення процесів кругообігу біогеохімічних речовин є необхідним для розуміння циклів обігу хімічних елементів у цих екосистемах. Очікується, що цей показник стане широко використовуваним в рамках сталого управління лісами, екологічного моніторингу, моделювання біомаси плантацій у зв'язку з глобальним потеплінням, а також оцінки відкладень вуглецю та кисню - утворення екологічних функцій лісів [3, 37].

Дослідження біологічної продуктивності пов'язане з аналізом процесів утворення, перетворення та накопичення органічної речовини, а також енергії, а також факторів, що впливають на цю продуктивність. Для успішної реалізації програми важливо надавати інформацію про комплексну оцінку рослинної маси насаджень.

Моніторинг лісів на міжнародному, європейському та національному рівнях відповідає міжнародним стандартам та вимогам Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН). Екстраполяція вуглецевого бюджету окремої країни є неможливою без отримання достовірної інформації про кількість рослинності, яку накопичено в лісах конкретного регіону.

Визначення біологічної продуктивності вимагає системного підходу, використовуючи спеціальні методи, що базуються на мультидисциплінарних наукових галузях, таких як лісівництво, екологія, математика та статистика. На сьогоднішній день актуальною є формулювання загальних і конкретних принципів отримання результатів і вирішення зазначеної проблеми, а також пошук компромісних варіантів у методичних підходах [6].

Оцінка продуктивності зазвичай здійснюється через встановлення відповідної пробної площі та визначення загальної площі лісу за її компонентами. Відбір створює передумови для завчасного виявлення закономірностей зміни біологічної продуктивності ферм. Специфічна повнота вздовж віку та едафічних градієнтів реалізується за допомогою багатофакторного регресійного аналізу.

На сьогодні глобальні методи дистанційного зондування є важливим інструментом для здобуття просторово-часової інформації про ліси на національному та регіональному рівнях, як додатковий ресурс до наземних досліджень (Лакида П. І., Гілітуха Д. В., 2016; Миронюк В. В., 2019). Методи дистанційного зондування забезпечують ефективність оцінки просторових параметрів від масштабу окремого дерева до всього лісового насадження, включаючи навіть важкодоступні місця [7].

Загальний обсяг фітомаси в українських лісах становить 1237,2 мільйона тонн, з яких приблизно 615 мільйонів тонн є вуглецем (у порівнянні, світовий запас становить 1036 мільярдів тонн). За даними Державного лісового реєстру, лісова площа України становить 10,8 мільйона гектарів, з яких 9,5 мільйона гектарів вкрито лісовою рослинністю. Лісистість становить 15,6%, що менше, ніж в багатьох країнах Європи. Цей показник значно варіюється в різних

регіонах. Найбільша площа лісів (42,2%) розташована на Поліссі, 23,0% - в Лісостепу, 11,4% - в Степу, 20,0% - в Карпатах, 3,4% - в Кримському гірському масиві. Найпоширенішими породами серед лісів є сосна (34,7%) та дуб (26,3%). Серед інших деревних порід важливі ролі відіграють ялина (9,9%), бук (9,3%), вільха (4,2%), береза (5,4%), граб (3,7%), ясен (1,4%), ялиця (1,4%), осика (1,2%) та інші сорти (2,0%). Середні запаси на гектар для хвойних порід становлять 239 м³, для твердолистяних - 197 м³, для м'яколистяних - 170 м³, що відповідає запасам вуглецю на рівні 61 тонн/гектар, 55 тонн/гектар та 53 тонн/гектар відповідно в рослинній масі. Середньорічний приріст деревини на гектар лісової площі становить 4,0 кубічних метра, що забезпечує депонування 1,2 тонни вуглецю на гектар щорічно. Природні хвойні ліси можуть накопичувати від 0,6 до 7,3 тонн вуглецю на гектар щорічно в залежності від віку та якості, тоді як штучні ліси - від 1,8 до 5,6 тонн вуглецю на гектар щорічно [21].

Ліси є саморегульованими системами, що постійно змінюються під впливом абіотичних і антропогенних факторів. Зміни в категоріях лісових угідь, породному складі, віковій структурі та інших таксаційних характеристиках відбуваються в динаміці. Прогнозування короткострокового та довгострокового відновлення лісових ресурсів важливе для розуміння взаємовпливу людини, господарської діяльності та лісу.

У вивченні складних лісових екосистем, де взаємодіють неживі та живі компоненти, застосовуються системні підходи. Лісові екосистеми, з їхньою високою просторовою мінливістю, вимагають застосування статистичних методів для отримання усереднених даних та моделювання динаміки.

Багатовимірні статистичні методи є важливим інструментом для виявлення закономірностей, які пояснюють взаємодію різних компонентів лісу. Вони дозволяють визначити кількісні зміни в масових явищах за допомогою різних аналізів, таких як кореляційний, регресійний, дисперсійний та інші [42].

Реєстрація динамічних процесів у лісових екосистемах є ключовим завданням інвентаризації. Збирання та аналіз таких даних дає змогу робити прогнози для майбутнього стану лісових насаджень.

Визначення інтегральних показників, таких як продуктивність та вуглецевий баланс, у часі та просторі надає можливість оцінити зміни в лісових екосистемах. Отримання точної інформації є важливим для розуміння структури та стану лісового фонду на регіональному рівні.

Все вищезазначене є важливим для вивчення впливу людської діяльності на лісові екосистеми в умовах сталого розвитку. Досягнення цієї мети вимагає попереднього визначення закономірностей росту та продуктивності лісових насаджень в конкретних умовах, що можливо завдяки детальним дослідженням стану та динаміки лісопосадок [48].

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Матеріали дослідження

Матеріалом дослідження слугували лісові насадження філії Ковельське лісове господарство Державного спеціалізованого господарського підприємства "Ліси України", яка розташована в центральній частині Волинської області на території Ковельського адміністративного району.

Площа лісгоспу: 65618 га. Структура вказана в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Структура філії

Назва структурного підрозділу	Площа, га
Ковельське лісництво	5437
Скулинське лісництво	2629
Білинське лісництво	2474
Радовичівське лісництво	3102
Зампанське лісництво	5341
Углівське лісництво	3424
Кашівське лісництво	3249
Дубечнівське лісництво	7717
Любохинівське лісництво	7556
Старовижівське лісництво	7975
Буцинське лісництво	9722
Сьомаківське лісництво	6958

Загальна площа земель лісгосподарського призначення: 61459 га, з них вкриті лісовою рослинністю: 58351,6 га.

У центральній частині Волинської області найбільш поширеними є дерново-підзолисті та дерново-глейові ґрунти. Ці типи ґрунтів сформувалися в результаті різноманітних процесів, таких як переміщення хімічних сполук,

нагромадження органічних речовин у верхніх шарах ґрунту, вивід дощовою водою у нижній горизонт і ґрунтові води. Оскільки ці ґрунти не утримують воду добре і мають вищий ступінь вилуженості, ніж інші види ґрунтів, дерново-підзолисті ґрунти відзначаються дефіцитом поживних речовин і різноманітних мінеральних сполук. Такий тип ґрунту відповідає лише менш вибагливим рослинам [1, 23].

Головним показником родючості ґрунту є вміст гумусу. За останні десятиліття спостерігається різке зменшення вмісту гумусу, що призвело до утворення негативного балансу. У середині 90-х років ХХ століття баланс гумусу був позитивним і становив 2,6 ц/га, але на початку 2000-х він спадав до мінус 0,4 ц/га. За останні дослідження показник балансу гумусу в ґрунті є ще менш задовільним.

У зв'язку з рівнинним рельєфом та високою лісистістю вода ерозія не є значущою, і вплив вітрової ерозії також невеликий. В низинах, зокрема у руслах, утворюються торф'яні болота, а на деяких ділянках спостерігається заболочення. Рівень ґрунтових вод коливається в межах 0,5-4,9 метрів.

Західне Полісся розташоване в помірному кліматі з зимовими температурами, що коливаються від $-3,2^{\circ}\text{C}$ до $-4,9^{\circ}\text{C}$, і літніми температурами в межах від $17,6^{\circ}\text{C}$ до $19,1^{\circ}\text{C}$. Відзначається великою кількістю опадів у порівнянні з іншими кліматичними районами України, з особливістю опадів, що відзначаються влітку. Ранні весняні та пізньоосінні заморозки негативно впливають на зростання та розвиток молодих рослин. Клімат по всій території області сприяє інтенсивному лісовому господарству. Лісовий покрив складається переважно з таких видів, як сосна звичайна (53%), ялина звичайна (1%), дуб звичайний (15%), тополя (4%), вільха чорна (10%), береза повисла (17%) [13].

В середньому за рік кількість опадів на Західному Поліссі майже відповідає середньорічній випаровуваності, з невеликим перевищенням загалом. Індекс вологості-сухості клімату, який визначається різницею між

кількістю опадів та потенційною випаровуваністю, на Поліссі вищий, ніж на більшій частині України. Кліматичні характеристики наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Кліматичні показники

Місяць	Відносна вологість, %	Середня температура повітря	Середня кількість опадів, мм	Переважаючий напрям вітру	Швидкість вітру, м/с
Січень	4,5	-4,9	28	ПдСх	4,8
Лютий	4,3	-3,8	25	Сх	4,8
Березень	5,5	0,3	27	ПдЗх	5,0
Квітень	7,6	7,2	38	ПнЗх	4,3
Травень	10,6	13,7	50	ПнСх	4,3
Червень	13,5	17,6	79	ПнСх	3,5
Липень	15,3	19,1	76	Сх	3,4
Серпень	16	18,0	78	Сх	3,2
Вересень	11,9	13,8	49	Сх	3,1
Жовтень	8,5	7,8	39	ПдЗх	3,6
Листопад	6,8	-1,5	43	ПдЗх	4,3
Грудень	5,2	-3,2	34	ПдЗх	4,5

Швидка зміна клімату може призвести до суттєвих відмінностей у кліматичних показниках порівняно із сучасними даними. Прогнози змін клімату включають у себе різноманітні сценарії, в яких можливі різкі коливання температур, зміни в режимі опадів та інші кліматичні зміни.

Ці зміни можуть відзначатися не тільки зростанням середніх температур, але і зміною розподілу опадів, інтенсивністю погодних явищ (наприклад, зменшення або збільшення кількості злив), а також іншими екстремальними явищами [34, 38].

2.2. Методика дослідження

Широко використовуваним методом визначення показників рослинної маси та запасів вуглецю в лісових екосистемах є аналіз модельних дерев у насадженнях, що забезпечує високу точність отриманих даних. Процеси відкладення вуглецю в лісових екосистемах безпосередньо залежать від різних факторів, таких як вік насаджень, їх видовий склад, відносна повнота, продуктивність, а також вплив природних та антропогенних чинників. Таким чином, для оцінки запасів вуглецю в лісових масивах використовується детальна інформація про лісові умови та характеристики насаджень, що дозволяє точно визначити запаси вуглецю та рослинної маси в лісових областях [2].

Згідно з результатами Загальноєвропейської програми моніторингу лісових екосистем, процес накопичення вуглецю в стовбуровій біомасі лісів коливається в середньому від 30 до 120 тонн на гектар і збільшується на 1-4 тонни на гектар щорічно.

В основі написання цієї роботи є використання нормативів оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України. Які були підготовлені кафедрою лісового менеджменту Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України (доктор сільськогосподарських наук, професор Лакида П.І., кандидати сільськогосподарських наук, доценти Васишин Р.Д., Лашенко А.Г., Терентьєв А.Ю.) [25].

Об'єктом дослідження є процеси депонування вуглецю чистими сосновими різновіковими деревостанами природного походження на території лісового фонду філії Ковельське лісове господарство Державного спеціалізованого господарського підприємства Ліси України. Відповідні різновікові природні сосняки, чисті за складом, були вибрані за таксаційними описами лісництв філії Ковельське лісове господарство. Розрахунок кількості депонованого вуглецю в цих насадженнях здійснювався на основі нормативів

оцінки компонентів фітомаси дерев. Зокрема, були використані таблиці природних деревостанів сосни звичайної у Поліссі та Лісостепу (таблиця 2.3.-2.10.) [35]:

Природні деревостани сосни звичайної у Поліссі Та Лісостепу

Таблиця 2.3

Фітомаса деревини стовбура, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	0,9	1,4	2,0												
6	2,0	3,2	4,4	5,5											
8		5,7	7,8	9,8	12	14									
10		8,9	12	15	19	22	25								
12		13	18	22	27	31	35	40							
14			24	30	36	42	48	54	60						
16			31	39	47	55	63	71	78	86					
18				50	60	70	80	89	99	100	110				
20				61	74	86	98	110	120	130	140	150			
22					89	100	110	130	140	160	170	190			
24					100	120	140	150	170	190	210	220			
26						140	160	180	200	220	240	260	280		
28						160	190	210	230	260	280	300	330		
30						190	220	240	270	300	320	350	380		
32							250	280	310	340	370	400	430	460	
36								350	390	430	470	510	540	580	
40									480	530	580	630	670	720	770
44										640	700	760	820	870	930

Таблиця 2.4

Фітомаса кори стовбура, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	0,3	0,3	0,4												
6	0,7	0,7	0,7	0,8											
8		1,2	1,3	1,3	1,4	1,4									
10		1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2								
12		2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1							
14			3,4	3,6	3,7	3,9	4,0	4,1	4,2						
16			4,4	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3	5,5					
18				5,7	5,9	6,1	6,3	6,5	6,6	6,8	6,9				
20				6,9	7,2	7,4	7,6	7,9	8,0	8,2	8,4	8,6			
22					8,5	8,8	9,1	9,4	9,6	9,8	10	10			
24					10	10	11	11	11	12	12	12			
26						12	12	13	13	13	14	14	14		
28						14	14	15	15	15	16	16	16		
30						16	16	17	17	17	18	18	19		
32							18	19	19	20	20	21	21	21	
36								23	24	25	25	26	26	27	
40									29	30	31	31	32	32	33
44										36	37	37	38	39	40

Таблиця 2.5

Фітомаса стовбура у корі, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	1,2	1,7	2,4												
6	2,7	3,9	5,1	6,3											
8		6,9	9,1	11	13	15									
10		11	14	17	21	24	27								
12		15	20	25	29	34	38	43							
14			27	34	40	46	52	58	64						
16			36	44	52	60	68	76	84	91					
18				55	66	76	86	96	100	110	120				
20				68	81	93	100	110	130	140	150	160			
22					98	110	120	140	150	170	180	200			
24					110	130	150	170	180	200	220	230			
26						150	170	190	210	240	260	280	300		
28						180	200	230	250	270	300	320	340		
30						200	230	260	290	310	340	370	390		
32							260	300	330	360	390	420	450	480	
36								380	410	450	490	530	570	610	
40									510	560	610	660	700	750	800
44										680	740	800	850	910	970

Таблиця 2.6

Фітомаса хвої дерева, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	0,3	0,2	0,1												
6	0,6	0,5	0,3	0,3											
8		0,9	0,7	0,6	0,5	0,5									
10		1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7								
12		2,6	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0							
14			3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3						
16			4,2	3,4	2,9	2,5	2,3	2,0	1,8	1,7					
18				4,6	3,9	3,4	3,1	2,8	2,5	2,3	2,1				
20				6,0	5,1	4,4	4,0	3,6	3,2	3,0	2,8	2,6			
22					6,5	5,6	5,0	4,5	4,1	3,8	3,5	3,3			
24					8,0	7,0	6,2	5,6	5,1	4,7	4,3	4,0			
26						8,5	7,6	6,8	6,2	5,7	5,3	4,9	4,6		
28						10	9,1	8,2	7,5	6,9	6,4	5,9	5,4		
30						12	11	9,8	8,9	8,2	7,6	7,1	6,6		
32							13	12	10	9,6	8,9	8,3	7,8	7,3	
36								15	14	13	12	11	10	9,8	
40									18	17	16	15	14	13	12
44										21	20	18	17	16	15

Таблиця 2.7

Фітомаса гілок крони у корі, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	0,4	0,3	0,2												
6	1,4	0,8	0,6	0,4											
8		2,0	1,4	1,1	0,8	0,7									
10		3,8	2,7	2,0	1,6	1,4	1,2								
12		6,7	4,6	3,5	2,8	2,3	1,9	1,7							
14			7,4	5,5	4,4	3,7	3,1	2,7	2,4						
16			11	8,3	6,6	5,5	4,6	4,0	3,5	3,1					
18				12	9,4	7,8	6,5	5,7	5,0	4,4	4,0				
20				16	13	11	9,0	7,8	6,9	6,1	5,5	5,0			
22					17	14	12	10	9,1	8,1	7,3	6,7			
24					23	19	16	14	12	11	9,5	8,6			
26						24	20	17	15	14	12	11	10		
28						30	25	22	19	17	15	14	13		
30						37	31	27	24	21	19	17	16		
32							38	33	29	25	23	21	19	17	
36								47	41	37	33	30	27	35	
40									57	50	45	41	38	35	32
44										68	61	55	50	46	43

Таблиця 2.8

Фітомаса крони дерева, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	0,7	0,5	0,3												
6	2,0	1,3	0,9	0,7											
8		2,9	2,1	1,7	1,3	1,2									
10		5,5	4,0	3,1	2,5	2,2	1,9								
12		9,3	6,6	5,2	4,2	3,5	3,0	2,7							
14			10	8,0	6,5	5,5	4,7	4,2	3,7						
16			15	12	9,5	8,0	6,9	6,0	5,3	4,8					
18				17	13	11	9,6	8,5	7,5	6,7	6,1				
20				22	18	15	13	11	10	9,1	8,3	7,6			
22					24	20	17	15	13	12	11	10			
24					31	26	22	20	17	16	14	13			
26						33	28	24	21	20	17	16	15		
28						40	34	30	27	24	21	20	19		
30						49	42	37	33	29	27	24	23		
32							51	45	39	35	32	29	27	24	
36								62	55	50	45	41	37	35	
40									75	67	61	56	52	48	44
44										89	81	73	67	62	58

Таблиця 2.9

Надземна фітомаса дерева, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	1,9	2,2	2,7												
6	4,7	5,2	6,0	7,0											
8		9,8	11	13	15	16									
10		16	18	20	23	26	29								
12		25	27	30	34	37	41	46							
14			38	42	46	52	57	62	68						
16			51	56	62	68	75	82	89	96					
18				72	79	87	95	100	110	120	130				
20				90	99	100	110	120	140	150	160	170			
22					120	130	140	150	170	180	190	210			
24					140	160	170	180	200	220	230	250			
26						180	200	220	240	250	270	290	310		
28						220	240	260	280	300	320	340	360		
30						250	270	300	320	340	370	390	420		
32							310	340	370	390	420	450	480	500	
36								440	470	500	540	570	610	640	
40									590	630	670	710	760	800	840
44										770	820	870	920	970	1000

Таблиця 2.10

Депонований вуглець у надземній фітомасі дерева, кг

Діаметр, см	Висота, м														
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
4	0,9	1,1	1,3												
6	2,3	2,6	3,0	3,5											
8		4,9	5,6	6,3	7,1	8,1									
10		8,2	8,9	10	12	13	14								
12		12	13	15	17	19	20	23							
14			19	21	23	26	28	31	34						
16			25	28	31	34	37	41	45	48					
18				36	39	43	48	52	54	58	63				
20				45	49	54	56	61	70	74	79	84			
22					60	65	68	77	81	91	95	100			
24					70	78	86	95	98	110	120	120			
26						91	98	110	120	130	140	150	160		
28						110	120	130	140	150	160	170	180		
30						120	140	150	160	170	180	200	210		
32							150	170	180	200	210	220	240	250	
36								220	230	250	270	280	300	320	
40									290	310	330	360	380	400	420
44										380	410	440	460	490	510

Для цих таблиць підносились дані модельних дерев сосни звичайної віком(10 років; 20років; 30років; 40років; 50років; 60 років; 70років; 80років; 90років; 100 років).

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами детального аналізу таксаційних показників лісових насаджень філії Ковельське лісове господарство Державного спеціалізованого господарського підприємства Ліси України, а також даних пробних площ доц. В.П. Войтюка кафедри лісового і садово-паркового господарства ВНУ імені Лесі Українки нами були визначені параметри середніх модельних дерев сосни звичайної різного віку для умов чистого лісостану ТЛУ свіжого бору району Західного Полісся. Визначені параметри цих модельних дерев наведені в таблиці 3.1. [5].

Таблиця 3.1

Параметри середніх модельних дерев сосни звичайної, в залежності від віку

Вік, років	Висота, м	Діаметр, см
10	4	5
20	9	12
30	12	14,5
40	16,5	20
50	19	24
60	21	28
70	22	30
80	22,5	32
90	23	36
100	24	37

За визначеними параметрами середніх модельних та нормативами оцінки компонентів фітомаси середнього дерева сосни (табл. 2.3-2.10) було обраховано: надземну фітомасу дерева; фітомасу крони; фітомасу гілок крони; фітомасу хвої; фітомасу стовбура у корі; фітомаса кори; фітомаса деревини стовбура; депонований вуглець у надземній фітомасі дерева. На основі

отриманих даних були побудовані діаграми, кожна з яких відповідає віку модельного дерева, наведені на рис. 3.1-3.10. [12].

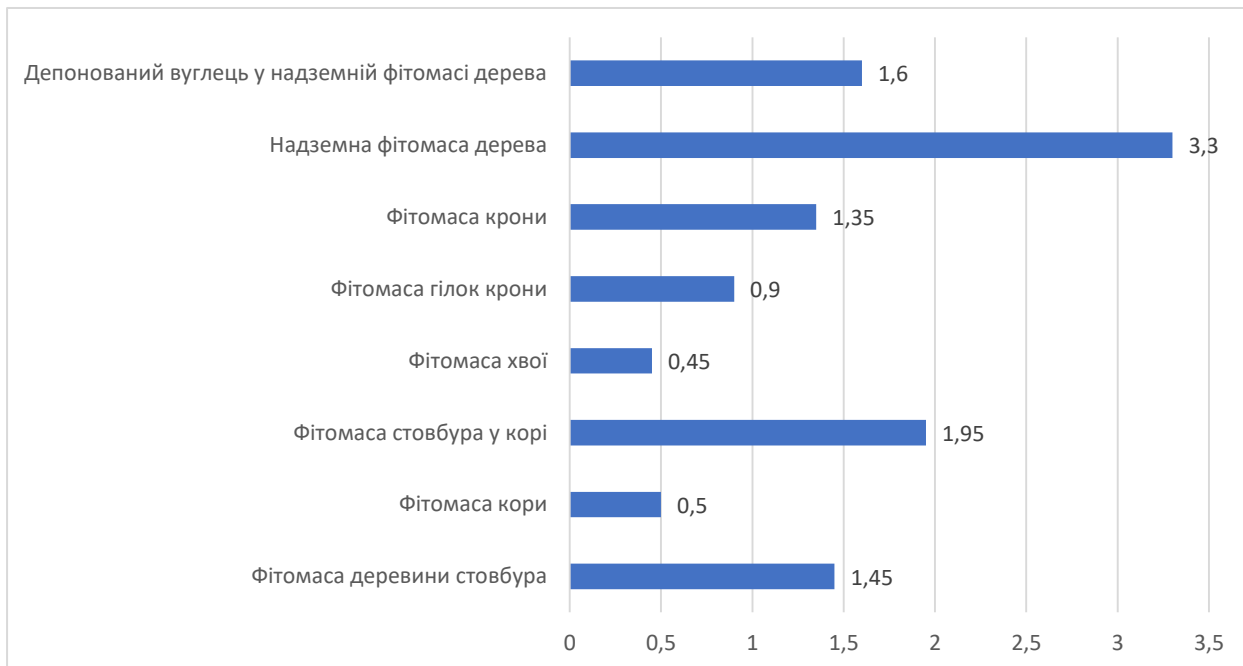


Рис 3.1. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 10 років, кг.

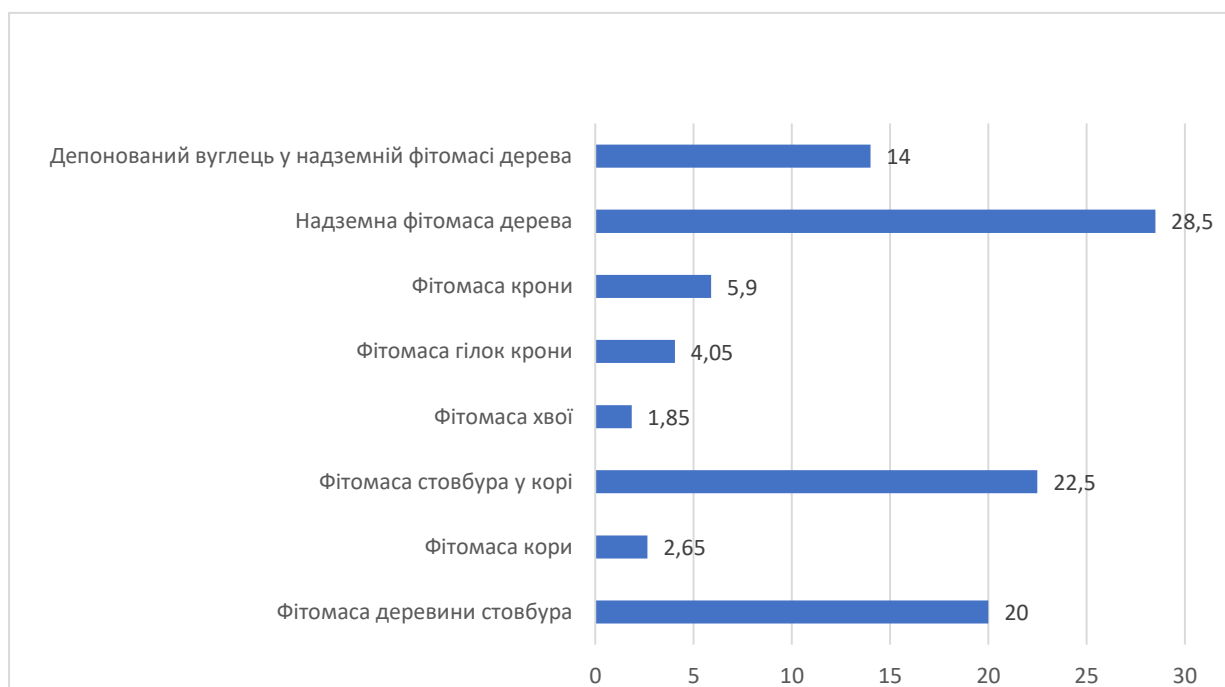


Рис 3.2. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 20 років, кг.

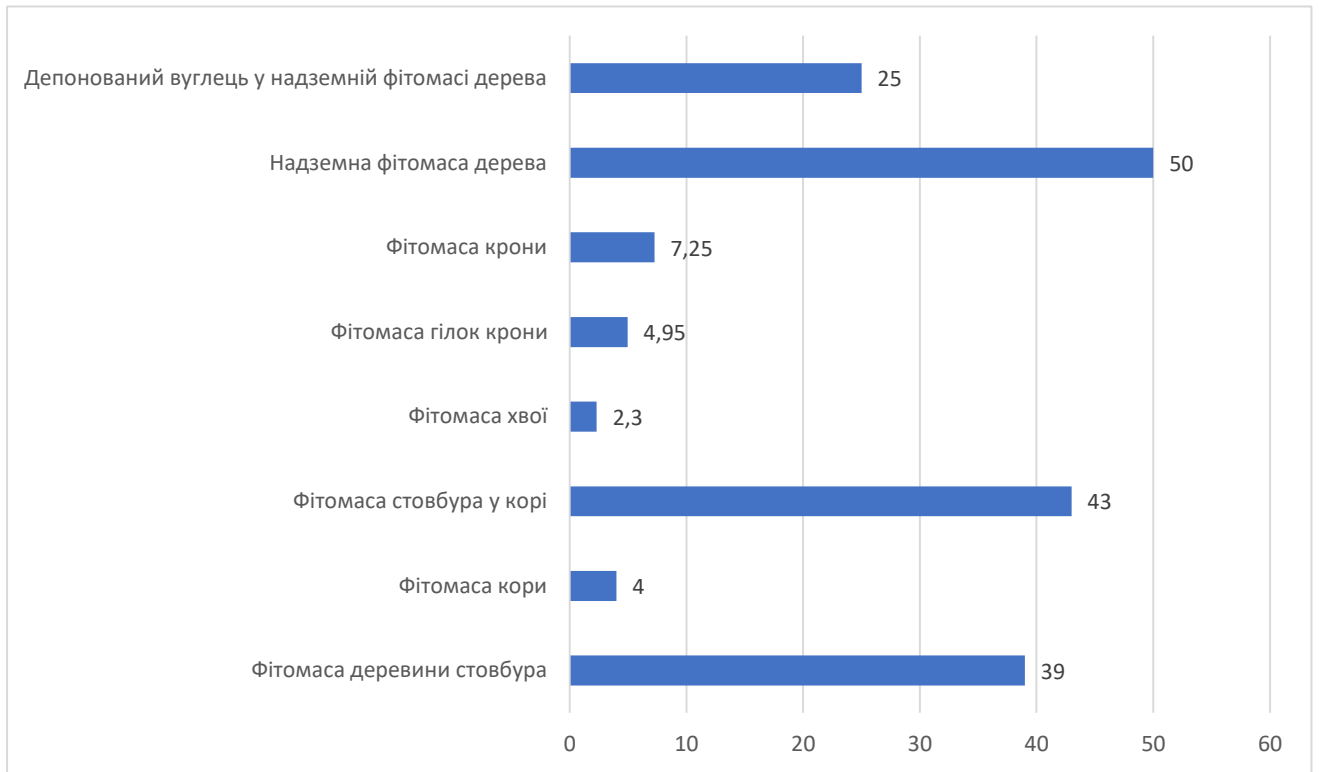


Рис 3.3. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 30 років, кг.

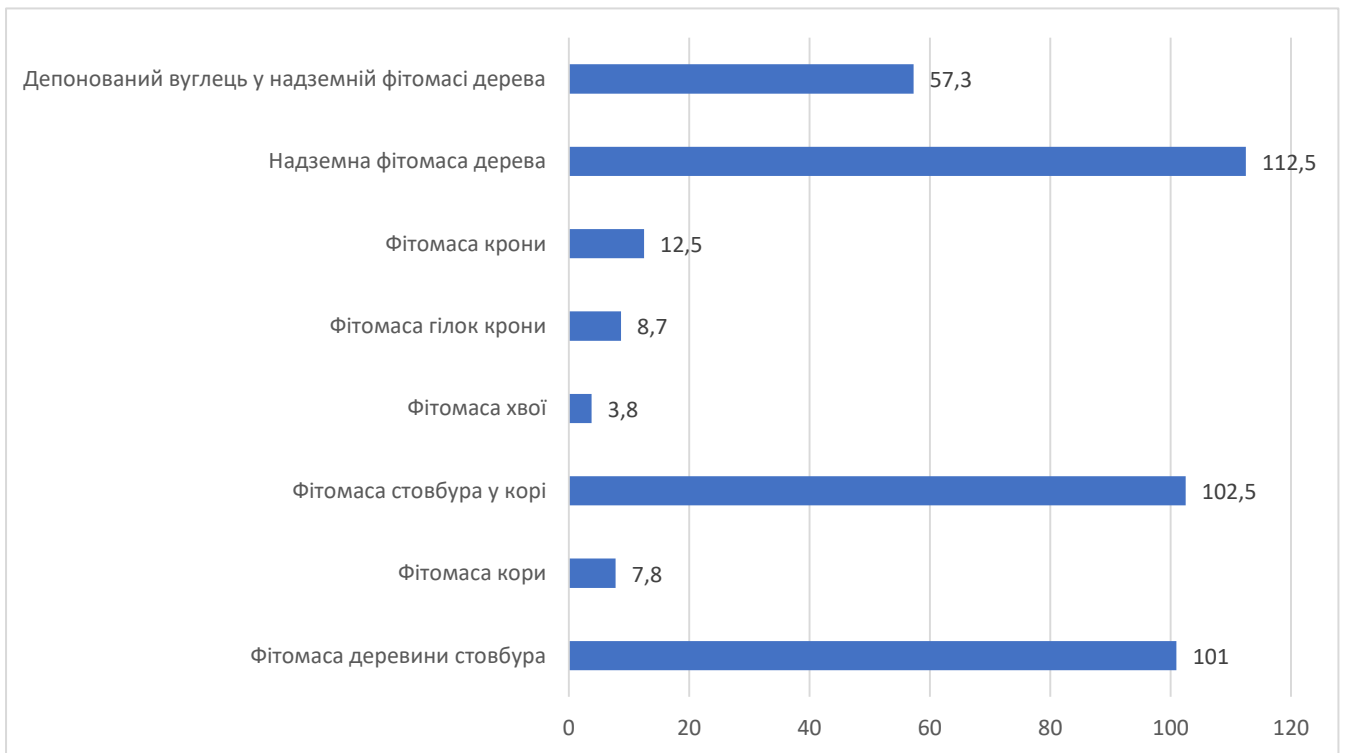


Рис 3.4. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 40 років, кг.

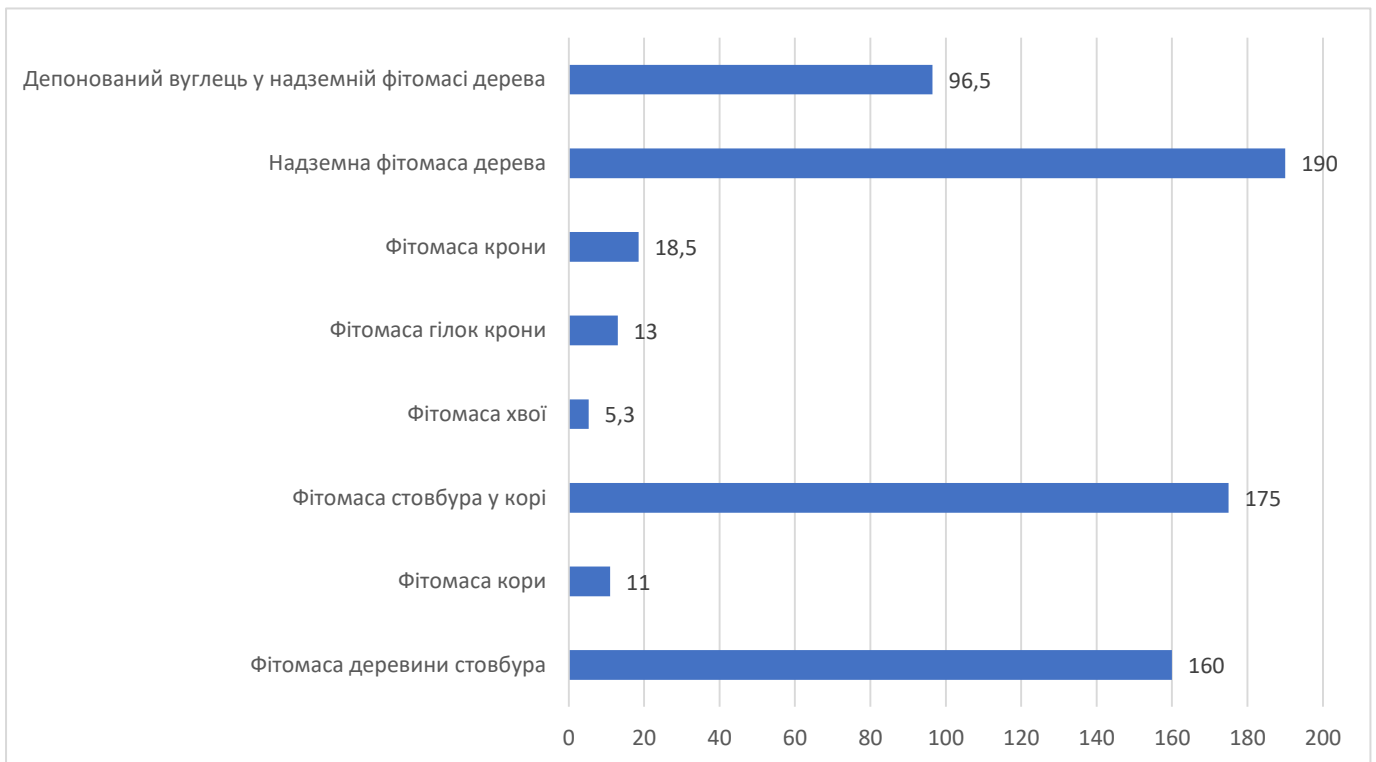


Рис 3.5. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 50 років, кг.

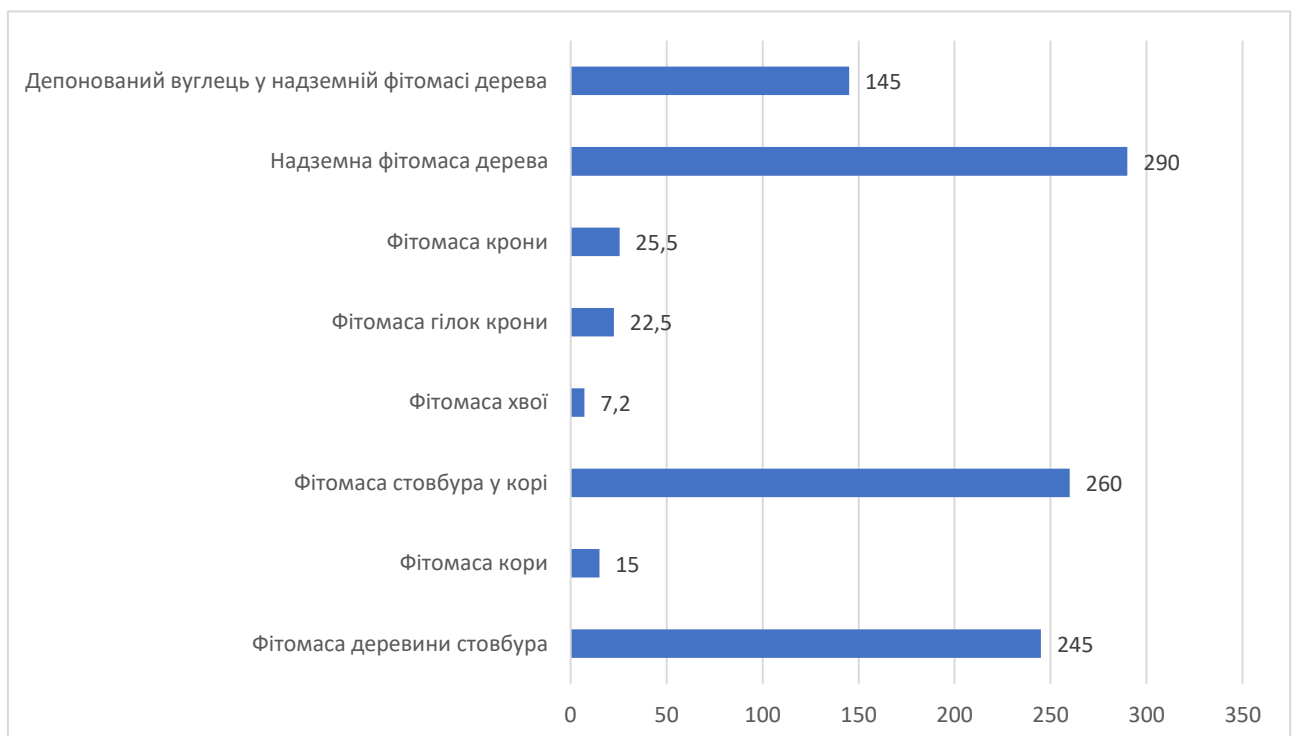


Рис 3.6. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 60 років, кг.

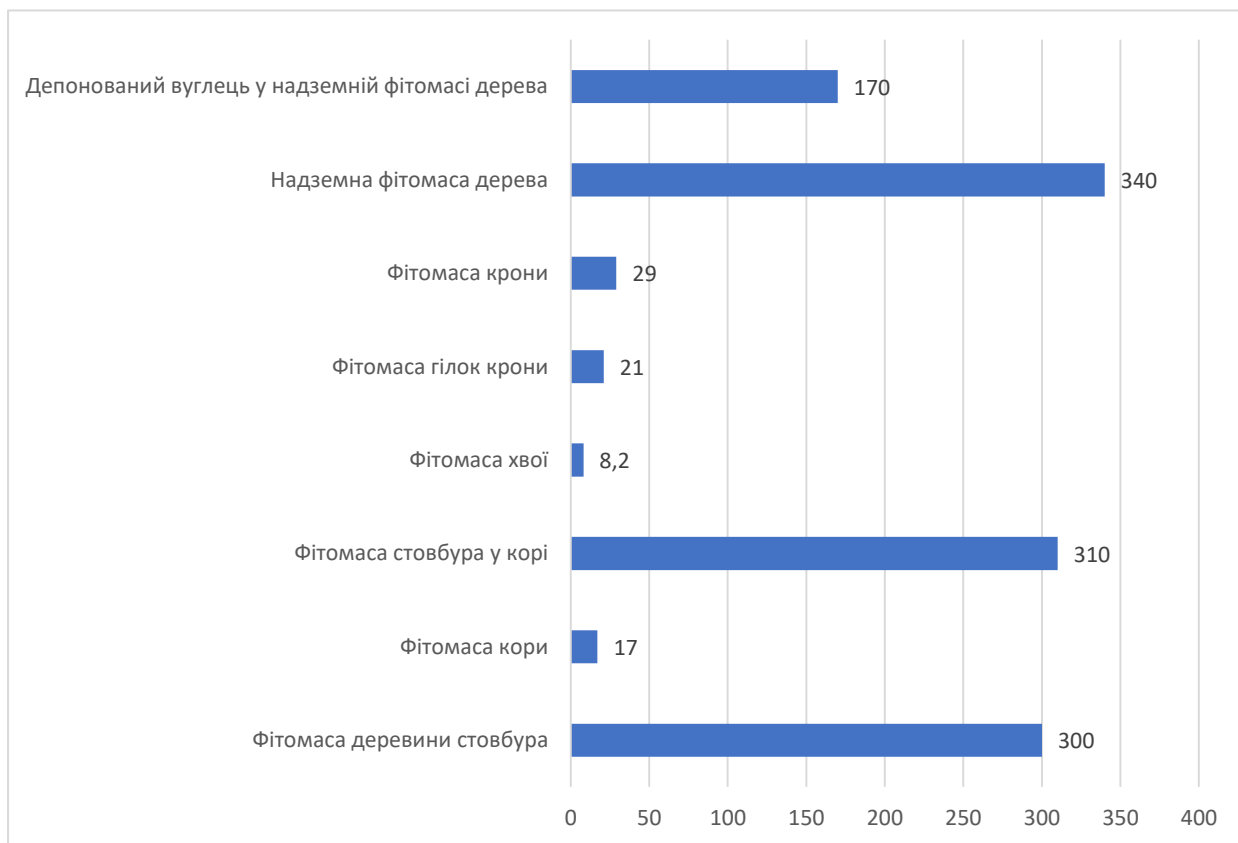


Рис 3.7. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 70 років, кг.

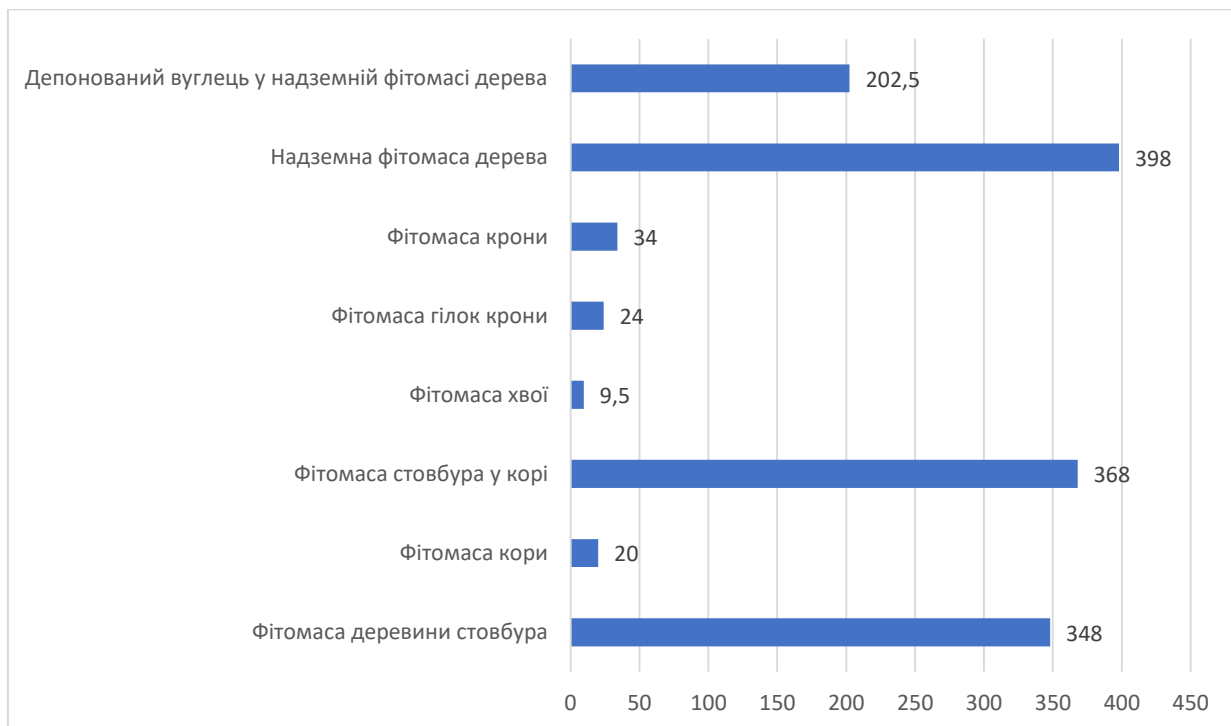


Рис 3.8. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 80 років, кг.

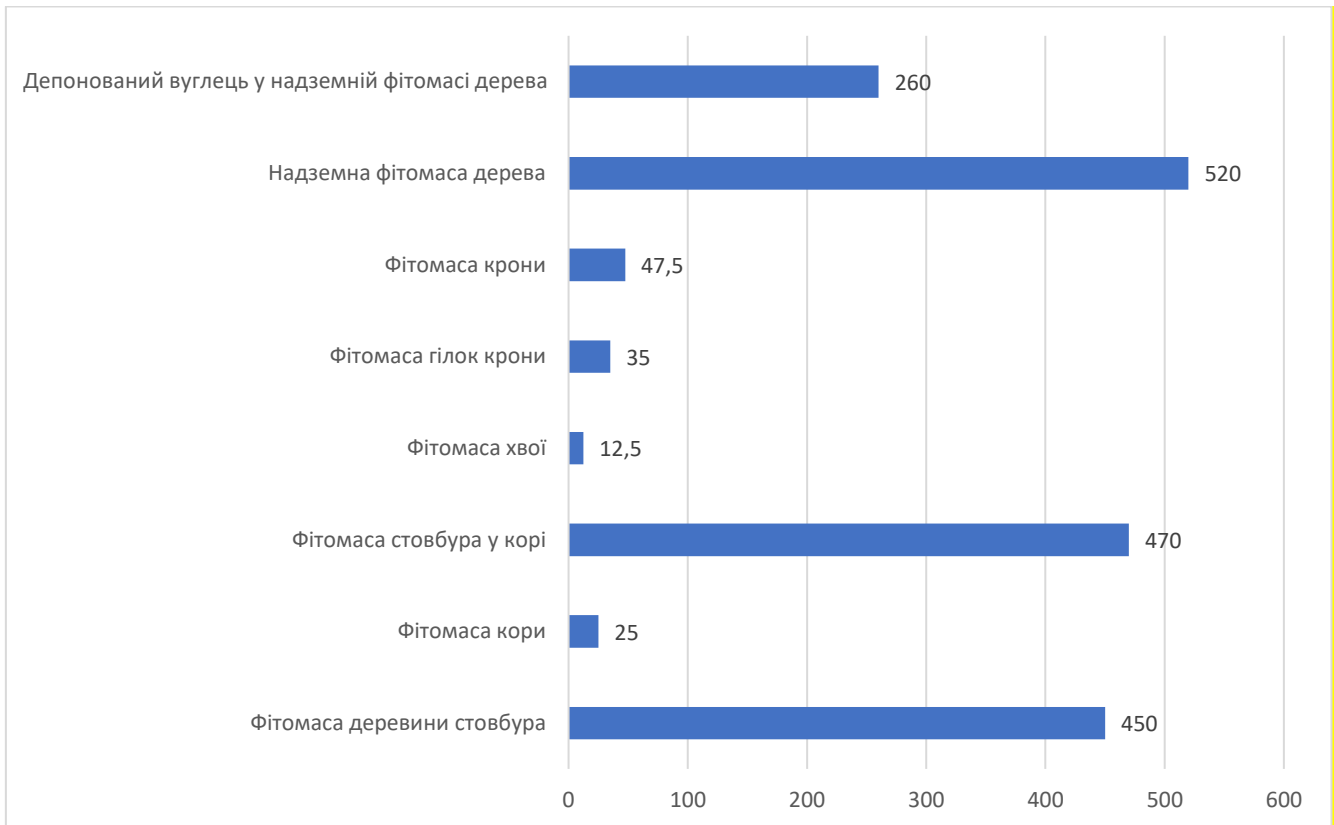


Рис 3.9. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 90 років, кг.

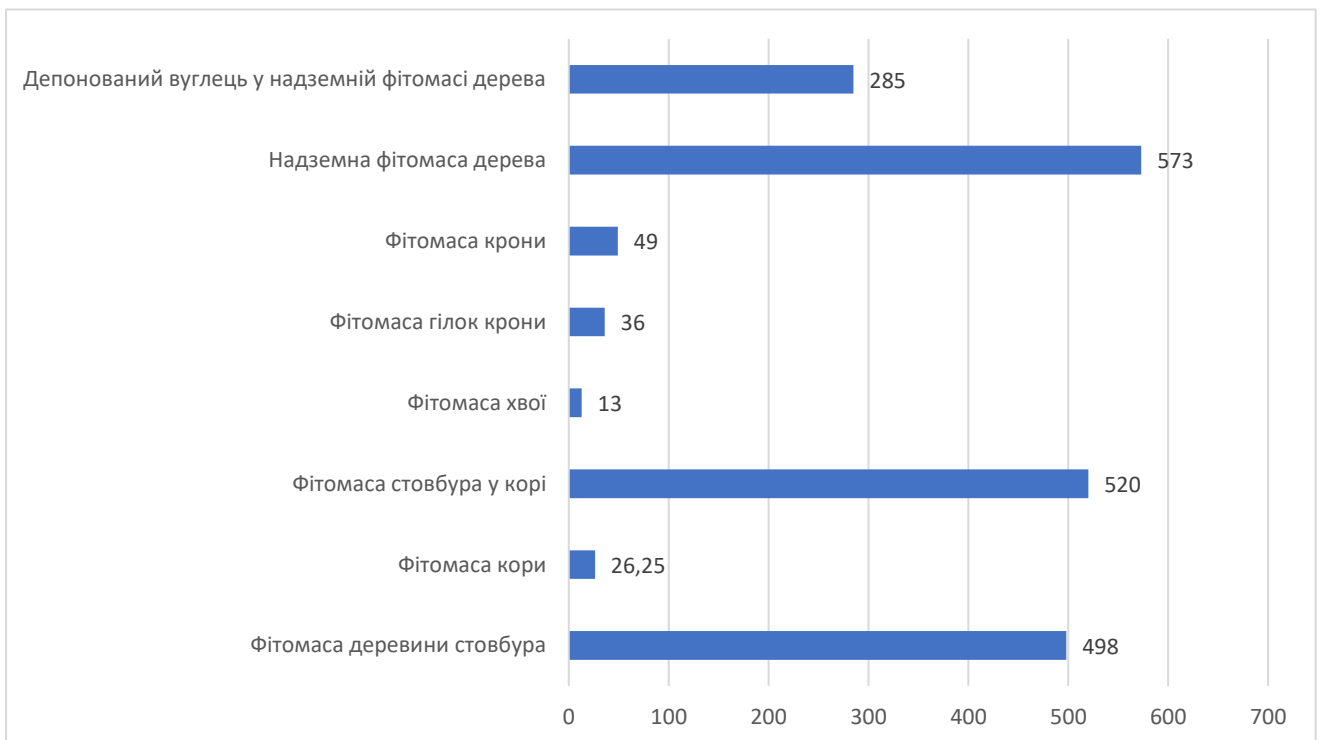


Рис 3.10. Оцінка компонентів фітомаси середнього модельного дерева сосни у віці 100 років, кг.

Детальний аналіз кожного параметра вказує, що фітомаса деревини стовбура цілком логічно збільшується зі зростанням віку, показуючи накопичення біомаси у стовбурі. Фітомаса кори теж збільшується, але меншою швидкістю порівняно з фітомасою стовбура. Фітомаса стовбура у корі зростає і визначається як сума фітомаси стовбура та фітомаси кори. Фітомаса хвої збільшується, але не так стрімко як інші компоненти. Фітомаса гілок крони теж показує поступове збільшення. Фітомаса крони є сумою фітомаси хвої та фітомаси гілок крони. Надземна фітомаса дерева визначається як сума фітомаси деревини стовбура, кори, хвої та гілок крони. Депонований вуглець у надземній фітомасі дерева зростає і визначається великою мірою внеском фітомаси деревини стовбура, хвої та гілок крони. Для візуалізації цих даних побудовано таблиці (табл. 3.1 і табл. 3.2), які допоможуть краще розуміти тенденції та взаємозв'язки між параметрами зі зростанням віку дерева [14, 15].

Таблиця 3.2

Розподіл фітомаси за компонентами, %

Вік, років	Фітомаса деревини стовбура	Фітомаса кори	Фітомаса стовбура у корі	Фітомаса хвої	Фітомаса гілок крони	Фітомаса крони	Надземна фітомаса дерева
10	43.94	15.15	59.09	13.64	27.27	40.91	100
20	70.18	9.30	78.95	6.49	14.21	20.70	100
30	78.00	8.00	86.00	4.60	9.90	14.50	100
40	89.78	6.89	96.11	3.38	7.71	11.04	100
50	84.21	5.79	90.00	2.79	6.58	9.21	100
60	84.48	5.17	89.66	1.90	5.17	5.86	100
70	88.24	5.00	93.24	2.41	6.18	8.53	100
80	87.44	5.03	92.47	2.39	6.03	8.54	100
90	86.54	4.81	91.35	2.40	6.73	9.13	100
100	86.94	4.58	91.51	2.27	6.30	8.55	100

У таблицях продемонстровано відсотковий внесок кожної частини відносно загальної надземної фітомаси (табл. 3.2.) та депонованого вуглецю (табл. 3.3).

Ці відсоткові значення вказують на розподіл фітомаси для кожного компонента дерева відносно загальної надземної фітомаси для різних вікових категорій.

При цьому, як видно з табл. 3.2, основна доля депонованого вуглецю цілком логічно припадає на деревину стовбура і стрімко зростає у віці 10-40 років з 44 % до 89 %, а далі характеризується постійністю. Коливання незначні, в межах 5 %: від 84 % до 89 % [5].

Таблиця 3.3

Відсотковий внесок компонентів до загального обсягу депонованого вуглецю, %

Вік, років	Фіто-маса деревини стовбура	Фіто-маса кори	Фіто-маса стовбура у корі	Фіто-маса хвої	Фіто-маса гілок крони	Фіто-маса крони	Надземна фіто-маса дерева	Депонований вуглець у надземній фітомасі
10	43.94	15.15	59.09	13.64	27.27	40.91	100	48.48
20	70.18	9.30	78.95	6.49	14.21	20.70	100	49.12
30	78.00	8.00	86.00	4.60	9.90	14.50	100	50.00
40	89.78	6.89	96.11	3.38	7.71	11.04	100	57.27
50	84.21	5.79	90.00	2.79	6.58	9.21	100	50.79
60	84.48	5.17	89.66	1.90	5.17	5.86	100	49.83
70	88.24	5.00	93.24	2.41	6.18	8.53	100	50.00
80	87.44	5.03	92.47	2.39	6.03	8.54	100	50.75
90	86.54	4.81	91.35	2.40	6.73	9.13	100	50.00
100	86.94	4.58	91.51	2.27	6.30	8.55	100	49.74

Відсотковий внесок кожної частини у депонований вуглець у надземній фітомасі для різних вікових категорій наведено в табл. 3.3.

Ці відсоткові значення вказують розподіл внеску кожної частини дерева у депонований вуглець відносно загального депонованого вуглецю у надземній фітомасі для різних вікових категорій.

Як видно з таблиці 3.3, відсоток депонованого вуглецю у надземній фітомасі коливається в межах від 48,5 % до 57,3 % для різних класів віку, а в середньому для соснових деревостанів він становить близько 50 % [12].

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Оскільки світ продовжує боротися зі зміною клімату, компенсація вуглецю в лісах стала обіцяючим рішенням. Захищаючи ліси, ми можемо вловлювати та поглиблювати вуглець, зменшуючи викиди парникових газів. Це приносить користь навколишньому середовищу і відкриває економічні можливості для громад, які залежать від лісів для свого існування. Введення компенсації вуглецю в лісі означає, що компанії мають можливість компенсувати свій вуглецевий слід, платячи за захист лісів. Це ідея компенсації вуглецю, пов'язаної з лісами.

Компенсація викидів вуглецю в лісі означає, що ліс, який може бути під загрозою вирубки або для інших цілей, захищається в обмін на плату. Ця плата подається власникові лісу – може бути державі або приватному землевласнику – для запобігання вирубці [16].

Після укладення угоди між власником і покупцем, лісова зона стає "проектом вуглецевого кредиту". Угода включає зобов'язання не вирубувати дерева та не допускати їх руйнування в результаті пожежі. Організація або особа, яка керує проектом, продає ці зобов'язання та отримує частину отриманих коштів.

З іншого боку, компанії, які викидають забруднення в атмосферу, можуть купувати ці вуглецеві кредити для нейтралізації своїх викидів за певну суму [20].

Дерева ефективно зберігають вуглець у своїй структурі, тому ростучи, вони можуть втримувати більше вуглецю. Це зберігання вуглецю також відбувається в ґрунті та інших рослинних компонентах.

Проте, при вирубці дерев вуглець, який вони накопичили, викидається в повітря. Якщо дерева використовуються для виробництва деревини, частина вуглецю залишається, але значна частина викидається в атмосферу.

Отже, компенсація лісового вуглецю означає компенсацію викидів метричної тонни еквівалента вуглекислого газу (CO₂), який був уникнутий або поглиблений вуглець. Компанії купують компенсації, щоб збалансувати свої викиди вуглецю, які відбуваються в інших місцях.

Існують три типи компенсації вуглецю в лісі на сьогоднішній день: лісонасадження або лісовідновлення, уникнення перетворення та покращене управління лісами (IFM) [24].

Лісорозведення/лісовідновлення: Це важлива екологічна ініціатива, спрямована на відновлення деревного покриву на землях, де раніше були ліси. Ці проекти борються зі збезлісенням, підвищують біорізноманіття, пом'якшують зміни клімату та сприяють відновленню екосистем.

Уникнення перетворення: Ці проекти запобігають перетворенню лісових територій у без лісові ландшафти. Вони відомі як REDD+ і допомагають зберігати існуючий лісовий покрив, борючись зі зміною клімату.

Покращене управління лісами (IFM): Ці ініціативи спрямовані на оптимізацію управління лісовими територіями для покращення поглиблення вуглецю, біорізноманіття та загального здоров'я екосистеми. Проекти IFM найбільш поширені на ринках вуглецю.

Кожен з цих типів має свої витрати, переваги та методи обліку вуглецю. Вибір відповідного типу — це перший крок у процесі дослідження. Наприклад, лісорозведення вимагає значних витрат на процеси відновлення, тоді як уникнення перетворення спрямоване на збереження існуючих лісів. Проекти IFM орієнтовані на оптимізацію управління лісами для збереження та збільшення поглиблення вуглецю. Наукові дослідження показують, що проекти IFM вже надали значний внесок, генеруючи мільйони кредитів компенсації вуглецю. Розробники проектів IFM повинні продемонструвати, що їхні ліси утримують більше вуглецю, ніж це сталося б природно. Іншими словами, їм потрібно показати, що їхні ліси володіють вищою здатністю утримувати вуглець у порівнянні з лісами, які залишилися б без втручання [27].

Переваги компенсації вуглецю в лісі включають:

Збереження незайманих лісів: Проекти компенсації вуглецю сприяють збереженню лісів, які залишаються практично не тронутими або є мало експлуатованими. Це сприяє збереженню біорізноманіття та забезпеченню екосистемних послуг.

Удосконалення лісогосподарських проектів: Компенсація вуглецю надає стимули для покращення управління виробничими лісами та плантаціями, спрямованими на заміну викопних матеріалів біомасою. Це допомагає переходити до економіки, що базується на використанні відновлюваних ресурсів.

Збільшення присутності дерев на сільськогосподарських угіддях: Впровадження систем агролісівництва та надання фінансових та соціальних стимулів для громад може сприяти збільшенню деревистості на сільськогосподарських угіддях [39].

Відродження деградованих земель: Компенсація вуглецю може бути використана для відновлення деградованих земель, поліпшуючи екосистемні послуги. Важливо, щоб цей процес здійснювався у співпраці з місцевими громадами, враховуючи місцевий контекст.

В цій стратегії викиди вуглецю зменшуються завдяки управлінню лісами, спрямованому на утримання більше вуглецю та зменшення темпів зміни клімату. Глобальні рівні парникових газів ростуть, і збереження та відновлення лісів може внести вагомий внесок у збалансування цього процесу.

Прогнози кліматичних моделей передбачають збільшення глобальної температури, підвищення рівня моря та зміни погодних умов, що призводять до екстремальних явищ, таких як посухи, повені та затоплення запасів прісної води, що ставить під загрозу джерела питної води. Наукові дослідження свідчать про те, що громади, що залежать від сільського господарства або розташовані в прибережних регіонах, можуть стикнутися зі значними труднощами через глобальне потепління. Дослідження підкреслюють важливість утримання вуглецю в лісах для зменшення негативних впливів

зміни клімату. Наразі ліси в США поглинають приблизно 16% викидів країни, утворених внаслідок спалювання викопного палива, як свідчать дані Лісової служби США. Більше того, ліси надають різноманітні екосистемні послуги, такі як управління водосистемою та забезпечення середовища проживання для біорізноманіття [16, 39].

Щодо ринку компенсацій вуглецю в лісі, більше 30% усіх кредитів надійшло з добровільних реєстрів у 2022 році. Проекти, такі як IFM, REDD+ і заліснення, представляють різні типи таких компенсацій.

Дослідження Nayaetal. вказують, що США виступають основним постачальником кредитів на компенсацію вуглецю від проектів IFM, що складають 94% від їхньої кількості. Більшість цих кредитів було зареєстровано в програмі CARB для компенсації вуглецю в Каліфорнії, з якої майже половина походить від лісових проектів США. Наразі власники лісів, що продають компенсаційні кредити, активно розвивають свої лісові угіддя, намагаючись диверсифікувати свої джерела доходів від лісового господарства.

Щодо встановлення ціни на компенсацію вуглецю в лісі, у 2021 році ціни на компенсаційні кредити на добровільних ринках знизилися. Лісові компенсації вуглецю належать до природних глобальних компенсацій викидів, і вони залишались привабливими навіть при спаді цін на компенсації загального використання вуглецю минулого року.

Це зниження виникло з кількох причин. Глобальні економічні труднощі, такі як висока інфляція, неперервні конфлікти, зокрема в Україні, і тривалі наслідки пандемії, сповільнили економічний розвиток у 2022 і 2023 роках. Крім того, на конференції COP27 не досягнуто прогресу у встановленні єдиного стандарту для глобальних ринків вуглецевих кредитів. Цей відсутній прогрес гальмує розвиток добровільних ринків. Незважаючи на це, компанії активно шукають способи компенсувати свої залишкові викиди, особливо у секторах, де складно зменшити викиди. Процес придбання лісових вуглецевих компенсацій майже аналогічний придбанню інших видів вуглецевих кредитів [20, 44].

Розрахунок вуглецевого сліду є важливим етапом перед вибором постачальника компенсацій. Таким чином, слід визначити, скільки кредитів потрібно придбати, що вимагає розрахунку вуглецевого сліду. Це важливо враховувати, оскільки один кредит еквівалентний одній тонні вуглецю. Декілька лісогосподарських проєктів зазнали знищення через лісові пожежі, що призвело до скасування обіцяних заходів щодо скорочення викидів. Наприклад, дослідження вказує на те, що каліфорнійському буферному пулу, що функціонує як програма самострахування для компенсації скасування, значно бракує фінансових ресурсів.

Існує також проблема, пов'язана з математичними аспектами того, скільки вуглецю фактично захоплюється та зберігається в конкретній лісовій зоні. Різноманіття лісів, різні екосистеми та різноманітні ризики роблять це обчислення складним завданням. Врахування політики щодо використання даних та вибору лісів для включення також впливає на цей процес. Прозорість, ефективність та спільні зусилля стають важливими факторами для подолання труднощів та впевненого розвитку ринку вуглецевих компенсацій в лісовому господарстві.

На 21-й Конференції сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, що відбулася в Парижі в 2015 році, було оголошено перехід до економічної моделі з низьким вмістом вуглецю, спрямованої на боротьбу зі зміною клімату та сприяння сталому розвитку. Проте цей перехід можливий лише за умови використання потенціалу лісів для протидії змінам клімату, зокрема, поглибленням парникових газів, зокрема вуглекислого газу, та утриманням вуглецю в екосистемах лісів [24, 45].

Міжнародно визнається важлива роль лісів як ключового поглинача парникових газів, і українське лісове господарство володіє значним потенціалом у цьому напрямку, який поки що залишається недооціненим та нереалізованим.

Подальший аналіз показує, що з 1990 по 2020 роки лісовий фонд України поглиблював вуглець у розмірі від 51,8 млн. тонн CO₂ до 24,4 млн. тонн CO₂-

еквіваленту у 1999 році. У роки з 2016 по 2022 середня річна абсорбція складала 26,5 млн тонн CO₂ та 2,55 тонн CO₂ на гектар лісової площі. Ці цифри підкреслюють, що лісове господарство в Україні виступає єдиним сектором, який поглиблює більше вуглецю, ніж викидає. Розуміння цього важливого аспекту є ключовим для суспільства та сприятиме розвитку ефективного управління лісовими ресурсами, що в свою чергу сприятиме сталому розвитку України та зменшенню кліматичних змін.

Важливо зауважити, що Україна, яка є лідером у сфері зміни клімату, вже оголосила стратегію низьковуглецевого розвитку до 2050 року. Цей стратегічний документ слугує інструментом для державного управління та формування кліматовідповідальної поведінки бізнесу та громадян, сприяючи приведенню в життя інноваційних технологій, інвестицій та міжнародної технічної допомоги [27, 43].

Один із ефективних шляхів управління лісовими ресурсами в Україні - використання вуглецевих кредитів. Це форма розподілу сертифікатів для країни або організації на викиди певної кількості парникових газів, які можна торгувати на міжнародному ринку. Програма VerifiedCarbon Standard (VCS), яка є світовим лідером серед міжнародних програм кредитування парникових газів, гарантує, що всі вуглецеві кредити відображають реальні, перевірені та прозорі скорочення викидів парникових газів. Це сприяє стійкому розвитку та кліматичному менеджменту.

Стратегічні цілі щодо декарбонізації та систематичний підхід до їх досягнення є логічним розширенням євроінтеграційного курсу України. Післявоєнна відбудова України має ґрунтуватися не лише на відновленні зруйнованої інфраструктури, але й враховувати кліматичні цілі, зелений перехід та перехід до сталої економіки.

В якості кандидата у члени ЄС, Україна повинна зміцнювати конкурентоспроможність та енергетичну незалежність, а також вносити свій внесок у глобальну боротьбу зі зміною клімату та сприяти виконанню кліматичних зобов'язань [16, 50].

За оцінками вчених, всі країни світу повинні протягом наступних 10 років закласти основи для трансформації різних секторів економіки з метою зменшення викидів в атмосферу. Україна, як частина світової спільноти, активно приймає участь у боротьбі з цим глобальним викликом. У липні 2021 року Уряд України схвалив Оновлений національний визначений внесок України до Паризької Угоди (НВВ2) з метою скорочення викидів парникових газів на 35% до 2030 року порівняно з 1990 роком. Обсяг викидів CO₂ в Україні зменшився на 44,8% протягом останнього десятиліття з 2006 року. У 2006 році їхня кількість становила 321,3 млн. тонн CO₂, тоді як у 2020 році цей показник склав 177,4 млн. тонн CO₂. З початку 2022 року в Україні ставка податку на викиди вуглецю зросла з 10 грн (0,3 дол. США)/тCO₂ до 30 грн (1 дол. США)/тCO₂. Навіть після цього збільшення ставка залишається найнижчою в Європі (з виключенням Польщі), порівняно з іншими країнами, такими як Швеція, Швейцарія, Фінляндія, Норвегія, Франція, Нідерланди, Португалія, де вона вища. Податок на тонну вуглецю в Україні становить 97 грн.

Якщо середнє модельне дерево сосни віком 100 років за нашими розрахунками містить 285 кг депонованого вуглецю, то на 1 гектарі 540 дерев (середньостатистична кількість дерев на 1 га стиглого лісу в Україні [24]) містять 153 900 кг депонованого вуглецю на суму 14 928,3 грн.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно зі статтею 2 в Ковельському лісництві-філії ДП "Ліси України" здійснюється створення та забезпечення безпечних умов праці, як це передбачено статтею 13 Закону України "Про охорону праці". На підприємстві розроблені та впроваджені положення, інструкції та накази з охорони праці та техніки безпеки. Також визначено склад та кількість відповідальних осіб, серед яких визначений відповідальний за охорону праці, що регулярно проходить необхідне навчання.

Документи з охорони праці, затверджені підприємством, установлюють правила та методику виконання робіт на різних машинах і обладнанні, яке знаходиться на балансі підприємства. Вони також визначають правила поведінки працівників на території підприємства, виробничих приміщеннях і робочих місцях, а також встановлюють порядок дій для запобігання нещасним випадкам, а також дії, які слід вжити у разі настання нещасного випадку [28].

Основними нормативними документами філії є Положення про охорону праці, створене на основі Законів України "Про охорону праці" та "Про пожежну безпеку". Також використовується Типове положення про служби охорони праці, що було затверджене розпорядженням Державної комісії України для організацій, які надають правову, організаційну, санітарну, соціально-економічну та медичну допомогу. Ці документи спрямовані на запобігання нещасним випадкам, забезпечення безпеки працівників та безпечної експлуатації об'єктів підприємства.

Референт з охорони праці Ковельського лісгоспу підпорядковується безпосередньо керівнику підприємства, його призначає окремим наказом та обов'язково перевіряється щодо знань з питань охорони праці, техніки праці, правил праці та виробництва. Такі тести проводяться регулярно, інтервал між ними - раз на три роки.

Керівництво філії "Ковельський лісгосп" виявляє турботу про життя, безпеку та здорові умови праці своїх працівників. На підприємстві розроблені

інструкції щодо заходів пожежної безпеки, а також інструкції, правила та обов'язки при роботі з машинами. Усі працівники підприємства підлягають обов'язковому соціальному страхуванню від нещасних випадків і професійних захворювань. Також всі працівники, що працюють за трудовими договорами, пройшли медичний огляд, і настійно заборонено працювати без медичного огляду. Навчання з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги та правил поведінки при нещасних випадках на виробництві проводиться як при прийнятті на роботу, так і безпосередньо під час роботи.

Під час прийняття на роботу керівник підприємства або уповноважена ним особа детально ознайомлює працівника з правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства, посадовою інструкцією, правами та обов'язками згідно з умовами праці. Вступний інструктаж передбачає ознайомлення з правилами охорони праці, промислової гігієни, гігієни праці та протипожежного захисту. Відповідно до наказу №30 від 04.04.1994 року "Про затвердження Типового положення про навчання, роз'яснення та перевірку знань працівників з питань охорони праці", вступний інструктаж проводиться з усіма працюючими працівниками, незалежно від рівня освіти та професії. Процедура також охоплює працівників, які перебувають у відрядженні на підприємстві, а також студентів, що здійснюють практику за даним проектом [29, 46].

На робочих місцях працівники, які займаються виробництвом, отримують індивідуальні засоби захисту, такі як спеціальний одяг, взуття, рукавички, захисні окуляри, та навушники.

Перед початком роботи на робочому місці начальник відділу або лінії проводить первинний інструктаж, який фіксується у протоколі.

Перший інструктаж може бути проведений індивідуально або групою осіб, які мають однакову спеціальність або категорію, згідно з чинними інструкціями з охорони праці, відповідно до характеру роботи. Окрім вступного і початкового інструктажу, регулярно проводиться другий

інструктаж кожні шість місяців і кожні три місяці для працівників, які працюють у небезпечних зонах.

Позачергові інструктажі проводяться при внесенні змін чи доповнень до нормативно-правової бази з охорони праці, техніки безпеки, протипожежного захисту і т.д. Крім того, вони можуть бути організовані в разі змін в структурі виробництва, технологічних процесах, впровадженні нових виробничих потужностей чи ліній, а також у випадках порушення правил техніки безпеки та протипожежного захисту [29, 30, 31].

Первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі проводяться прямо керівником робіт (начальником виробництва) і підтверджуються перевіркою набутих знань через усне опитування або за допомогою технічних засобів. Працівники, які не пройшли задовільно перевірку знань, не допускаються до роботи.

В журналі реєстрації інформаційних занять з охорони праці на робочому місці робляться записи про проведення першого, повторного, позапланованого та цільового інструктажу та фіксується допуск інформованих працівників до роботи. Записи підтверджуються підписами осіб, які приймають інструктаж. Сторінки журналу повинні бути пронумеровані, прошнуровані та засвідчені печаткою.

Згідно з правилами охорони праці в галузі деревообробки електрообладнання повинно мати надійне захисне заземлення відповідно до вимог державного стандарту "Електробезпека. Заземлення" (ГОСТ 12.1.030-81) і обладнуватися спеціальними захисними конструкціями від потрапляння стружки, пилу і стружки. Електрообладнання та електроприводи, розташовані на машині і ізолювані від станини, вимагають окремого заземлення. У випадку порушення або несправності заземлення необхідно негайно відключити електроустановку і вжити заходів для відновлення заземлення.

Особи, які не мають медичної освіти, але згідно з обов'язками повинні мати базові навички надання допомоги в надзвичайних ситуаціях, зобов'язані вживати необхідні дії або заходи. З метою навчання працівників надавати

першу медичну допомогу при нещасних випадках керівники регулярно організовують навчання, підтверджують наявність аптечок і їхнє відповідне знаряддя, а також проводять тести щодо зупинення кровотеч, фіксації місця перелому, застосування реанімаційних заходів, таких як штучне дихання та непрямий масаж серця, і лікування пошкоджених частин тіла.

Для запобігання травматизму на території підприємства та в кабінеті охорони праці розміщені плакати з питань охорони праці, які міститимуть фотоілюстрації надання першої допомоги при різних травмах, план евакуації під час пожежі, розташування вогнегасників і пожежних щитів, а також інструкції з експлуатації обладнання [29, 32, 33].

ВИСНОВКИ

1. Кількість депонування вуглецю деревом сосни залежить від висоти та діаметра цього дерева, які у свою чергу визначаються віком та умовами зростання.

2. Основна частка депонованого вуглецю цілком логічно припадає на деревину стовбура і стрімко зростає у віці 10-40 років з 44 % до 89 %, а далі характеризується відносною постійністю з незначними коливаннями до 5 %: від 84 % до 89 %.

3. Відсоток депонованого вуглецю у надземній фітомасі коливається в межах від 48,5 % до 57,3 % для різних класів віку, а в середньому для соснових деревостанів він становить близько 50 %.

4. Середнє модельне дерево сосни віком 100 років за нашими розрахунками містить 285 кг депонованого вуглецю, а 1 гектар стиглого чистого соснового лісу (540 дерев) містить 153 900 кг депонованого вуглецю на суму 14 928,3 грн.

5. Збереження та відновлення соснових лісів може сприяти зменшенню парникових газів та покращенню стану навколишнього середовища.

Отримані в ході роботи дані можуть бути використані в розробці програм та стратегій зменшення викидів CO₂. Результати дослідження можуть також бути корисні для прийняття рішень в галузі екологічного менеджменту та розвитку лісового господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику "Лісники", м. Київ) У. М. Альошкіна, А. А. Жовтенко, І. Г. Вишенська та ін. Наукові записки НаУКМА. Т. 119: Біологія та екологія. 2011. С. 52-55.
2. Бала О. П. Система моделювання оцінки та прогнозу росту штучних мішаних дубових деревостанів Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.02. К.: «Либідь», 2004. 184 с.
3. Білоус А. М. Біопродуктивність та екосистемні функції м'яколистяних лісів Українського Полісся: дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.03.02. К.: 2016. 423 с.
4. Букша І. Ф. Внесок лісового господарства України у зменшення ризику зміни клімату. Деякі аспекти глобальної зміни клімату в Україні. 2002. С. 132-148.
5. Букша І. Ф., Пастернак В. П. Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві. Харків : ХНАУ, 2005. 125 с.
6. Васишин Р. Д. Динаміка біопродуктивності повних ялицевих насаджень Українських Карпат. Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. Львів : РВВ НЛТУ України, 2013. Вип. 23.8. С. 23-27.
7. Васишин Р. Д. Продуктивність та надземна фітомаса лісостанів ялиці білої в Українських Карпатах : дис. ... канд. с.-г. наук. К., 2007. 235 с.
8. Васишин Р. Д., Домашовець Г. С. Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. Львів : РВВ НЛТУ України. 2008. Вип. 18.3. С. 50-58.
9. Васишин Р. Д., Домашовець Г. С., Васишин О. М. Біопродуктивність та депонований вуглець штучних модальних букових деревостанів Українських Карпат. Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. Львів : РВВ НЛТУ України. 2013. Вип. 23.11. С. 14-19.

10. Гузь М. М. Кореневі системи деревних порід Правобережного лісостепу України. К.: «Ясмина», 1996. 145 с.

11. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України. [Р. А. Бунь, М. І. Густі, В. С. Дачук та ін.] за ред. Р. А. Буны. Львів : Вид-во Української академії друкарства, 2004. 376 с.

12. Колосок О. М. Первинна-нетто продукція надземної частини дерев смереки та депонований у ній вуглець. Науковий вісник НАУ : зб. наук. праць. Сер.: Лісівництво. – К.: Вид-во НАУ. 2000. Вип. 29. С. 280-284.

13. Лакида П. І. Біологічна продуктивність дубових деревостанів Поділля : монографія. К.: «ННЦ ІАЕ», 2006. 196 с.

14. Лакида П. І. Біопродуктивність та енергетичний потенціал м'яколистяних деревостанів Українського Полісся: монографія. Корсунь-Шевченківський : ФОП В. М. Гавришенко, 2012. 454 с.

15. Лакида П. І. Динаміка депонованого вуглецю в лісостанах України. Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. Сер.: Стан і тенденції розвитку лісівничої освіти, науки та лісового господарства в Україні. Львів : Вид-во УкрДЛТУ. 2004. Вип. 14.5. С. 140-143.

16. Лакида П. І. Нормативи оцінки компонент надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України: довідник (наук.-виробниче видання). Корсунь-Шевченківський : ФОП В. М. Гавришенко, 2013. 457 с.

17. Лакида П. І. Фітомаса лісів України : монографія. Тернопіль : «Збруч», 2002. 256 с.

18. Миклуш С. І. Загальна фітомаса рівнинних букових насаджень України. Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. Львів : УкрДЛТУ, 2009. С. 16-21.

19. Миклуш С. І. Продуктивність рівнинних букових лісів та особливості організації сталого господарства в них : дис. ... д-ра наук: спец. 06.03.02. Львів, 2009. 264 с.

20. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України. П. І. Лакида та ін. К.: «ЕКО-інформ», 2011. 192 с.

21. Пастернак В. П. Оцінка запасів вуглецю у соснових насадженнях свіжого субору. Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Сер.: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. 2009. № 1. С. 208-211.

22. Проблеми і стратегія виконання Україною Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату. Шевчук В. Я., Трофимова І. В., Трофимчук О. М. та ін. К.: «УІНСіР», 2001. 96 с.

23. Пушкар В. В. Хвойні у садово-парковому будівництві. К.: «Либідь», 2004. 284 с.

24. Статистичний щорічник України за 1999 рік. за ред. Осауленка О. Г. К.: «Техніка», 2000. 648 с.

25. Токар О. Є. Автоматизація збирання та оброблення даних при дослідженні лісових масивів. [О. Є. Токар, М. І. Густі, М. М. Король.] Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Сер.: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. № 598. С. 171-175.

26. Україна та глобальний парниковий ефект. Ч. І. Джерела та поглиначі парникових газів. [Н. П. Іваненко, М. М. Калетник, М. А. Козелькевич, Н. В. Парасюк, М. В. Рапцун за ред. В. В. Васильченка та М. В. Рапцуна]. К.: «Арена-Еко», 1997. 96 с.

27. Шпаківська І. М., Марискевич О. Г. Оцінка запасів вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів. Науковий вісник УкрНДІЛГА. Сер.: Лісівництво і агролісомеліорація. Харків : УкрНДІЛГА. 2009. Вип. 115. С. 176-180.

28. Лісовий кодекс України / Верховна Рада України. 1994. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12>

29. «Про охорону праці» Закон України від 1992 р. № 49-2694-12 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

30. «Про стандартизацію» Закон України від 2014 р. №1315-18 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>
31. «Про екстрену медичну допомогу» Закон України від 07.03.2018р. № 30-5081-17 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5081-17>
32. Державний комітет України по нагляду за охороною праці. Наказ № 30-0095-94 від 4.04.94 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0095-94>
33. Декларація МОП основних принципів та прав у світі праці. ухвал. Міжнар. конф. праці. Женева. 1998 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993_260
34. Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests Ecosystem Services / [T. Häyhä, P. Franzese, A. Paletto, B. Fath]. 2015. № 14. P. 12-23.
35. Carbon accumulation in European forests. [P. Ciais, M.J. Schelhaas, S. Zaehle et al]. Nature Geoscience. 2008. Vol. 1. No. 7. Pp. 425-429.
36. Carbon accumulation in Finland's forests 1922-2004 – an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. [J. Liski, A. Lehtonen, T. Palosuo et al]. Annals of Forest Science. 2006. Vol. 63. No. 7. P. 687-697.
37. Distribution of ^{137}Cs activity concentration in wood Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of Zhytomyr Polissya after the Chernobyl accident [Rozpodil vmistu ^{137}Cs u derevyni stovbura sosny zvychainoi (*Pinus sylvestris* L.) Zhytomyrskoho Polissia pislia Chornobylskoi avarii]. Holiaka, D. M., Levchuk, S. E., Protsak, V. P., & Kashparov, V. A. Ukrainian Nuclear Physics Journal "Nuclear Physics and Atomic Energy", 18.
38. Doha amendment to the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change – United Nations, 2012. 6 p. URL: http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/kp_doha_amendment_english.

39. Haines-Young R., Potschin M. Common International Classification of Ecosystem Services. Nottingham : Centre for Environmental Management, University of Nottingham, 2012. 34 p.

40. Impact of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantings on long term ^{137}Cs and ^{90}Sr recycling from a waste burial site in the Chernobyl Red Forest. Journal of Environmental Radioactivity. Thiry, Y., Colle, C., Yoschenko, V., Levchuk, S., Heens, M. Van., Hurtevent. P., & Kashparov, V. 2009. URL:<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.05.003>

41. Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European U.S.S.R. Biomass and Bioenergy. 1996. Vol. 11. No. 5. P. 371-382.

42. Lakyda, P. I. Fitomasa lisiv Ukrainy [Forest phytomass of Ukraine]. Ternopil : Zbruch. 2002.

43. Matthews G. The Carbon Contents of Trees. Forestry Commission. Tech. Paper 4. Edinburgh, 1993. 21 p.

44. Normatyvy otsinky komponentiv nadzemnoi fitomasy derevostaniv holovnykh lisotvirnykh porid Ukrainy [Standards for assessment of phytomass above-ground components of the forest stands of the main forest species of Ukraine]. Lakyda, P. I. et al. KorsunShevchenkivskiy: V. M. FOP Havryshenko. (2013).

45. Radiocesium distribution and fluxes in the typical *Cryptomeria japonica* forest at the late stage after the accident at Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant. Journal of Environmental Radioactivity. Yoschenko, V., Takase, T., Konoplev, A., Namba, K., Kivva, S., Zheleznyak, M., Sato, N., & Keitoku, K. 166(1), 45–55. 2017. URL:<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.017>

46. Sanitary standard for ^{137}Cs and ^{90}Sr of activity concentration in wood and products of wood (HNPARG-2005). Approved by the Ministry of Health of Ukraine of 31.10.2005. No. 573.

47. Sierra C. A., Del Valle J.I., Restrepo H.I. Total carbon accumulation in a tropical forest landscape. Carbon Balance Manag. 2012 Dec 19;7(1):12. doi: 10.1186/1750-0680-7-12.

48. SOU 02.02-37-476: Areas of trial forest inventory. Method of laying. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. 2006.

49. Structural characteristics and aboveground biomass of old-growth spruce-fir stands in the eastern Carpathian mountains, Ukraine. [W.S. Keeton, M. Chernyavskyy, G. Gratzner, M. Main-Knorn, M. Shpylchak, Y. Bihun]. Plant Biosystems. 2010. № 144. P. 1-12.

50. System of Environmental-Economic Accounting 2012. Experimental Ecosystem Accounting. New York : «United Nations», 2014. 198 p.