

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

СЛИВА ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 630*5:582.475:504.5:628.4.047(477.51)

**ДИНАМІКА РОСТУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ**

06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Київ – 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор сільськогосподарських наук, професор
Василишин Роман Дмитрович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
професор кафедри таксації лісу
та лісового менеджменту

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор
Миклуш Степан Іванович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний лісотехнічний університет України»,
директор Навчально-наукового інституту
лісового і садово-паркового господарства

кандидат сільськогосподарських наук
Блищик Іван Володимирович,
Відокремлений структурний підрозділ
«Березнівський лісотехнічний фаховий коледж»
Національного університету водного господарства
та природокористування,
голова циклової комісії лісівничих дисциплін

Захист відбудеться «23» квітня 2021 року о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.09 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 309

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «20» березня 2021 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. Г. Лащенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Екосистемні функції лісових фітоценозів є важливою складовою комплексного екозбалансованого використання лісових ресурсів на засадах сталого лісоуправління. В умовах Чорнобильської зони відчуження, де соснові деревостани є важливим природним об'єктом, котрий має ключовий вплив на формування стану навколишнього природного середовища та впливає на визначення стратегії ведення лісового господарства в радіаційно забруднених лісах, прогнозування особливостей їхнього росту й оцінювання біопродуктивності та вуглецедепонувальної здатності слугуватиме передумовою впровадження екосистемного менеджменту в систему управління природними ресурсами досліджуваного регіону. Наведений інструментарій також дозволить ефективно прогнозувати можливі наслідки від ландшафтних пожеж у лісових масивах зони відчуження.

Дослідження біопродуктивності та вуглецедепонувальної функції лісів слугують інформаційним базисом для напрацювання механізмів запобігання та пом'якшення наслідків глобальних кліматичних змін. Фундаментальні та прикладні аспекти досліджень цього напрямку лісівничої науки нині представлено в численних наукових працях як в Україні, так і за її межами (Лакида П. І. та ін., 2002, 2009, 2010, 2012, 2015, 2020; Петренко М. М., 2002; Василюшин Р. Д., 2007, 2016, 2018; Shvidenko A. and others, 2008, 2012, 2014, 2017; Schepaschenko D. and others, 2008, 2017; Миклуш С. І., 2009, 2011; Блищик І. В., 2010; Пастернак В. П., 2011; Gusti M. and others, 2011; Лакида І. П., 2013; Білоус А. М., 2016, 2018; Ковальська С. С., 2018; Lesiv M. and others, 2018; та ін.).

Дослідження біопродуктивності та вуглецедепонувальної функції модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження дозволить розробити систему нормативно-інформаційного забезпечення для прогнозування росту модальних деревостанів та оцінювання їхньої біосферної ролі як наукового базису для забезпечення екозбалансованого використання лісових ресурсів регіону на засадах сталого розвитку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є частиною фундаментальних і прикладних досліджень, що виконувалися співробітниками кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України в межах таких держбюджетних тем: «Проблеми сталого використання лісових ресурсів в умовах глобальних змін клімату» (номер державної реєстрації 0114U000651) та «Прикладні рішення комплексного використання деревних ресурсів для реалізації концептуальних засад низьковуглецевого розвитку лісового господарства» (номер державної реєстрації 0120U102137), до яких здобувач залучався як виконавець окремих розділів.

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – розроблення нормативно-інформаційного забезпечення для прогнозування росту, біопродуктивності та оцінювання вуглецедепонувальної функції

модальних соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження на типологічній основі.

Досягнення мети передбачало вирішення таких завдань:

– дослідити науковий доробок щодо ролі лісових фітоценозів у забезпеченні низьковуглецевого розвитку;

– опрацювати теоретичні засади і методичні підходи до оцінювання особливостей росту, біопродуктивності та вуглецедепонувальної здатності соснових насаджень регіону;

– розробити математичні моделі динаміки таксаційних показників і таблиці ходу росту модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження на типологічній основі;

– здійснити кількісну оцінку фітомаси, первинної продукції та вуглецедепонувальної функції модальних соснових насаджень і розробити відповідний нормативний інструментарій у вигляді довідкових таблиць у межах п'яти найпоширеніших типів лісу;

– оцінити перспективи енергетичного використання біомаси соснових насаджень для забезпечення низьковуглецевого розвитку регіону дослідження.

Об'єкт дослідження – біопродукційні процеси в модальних соснових насадженнях Чорнобильської зони відчуження.

Предмет дослідження – динаміка росту, біопродуктивність та вуглецедепонувальна функція соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження.

Методи дослідження. Натурні експериментальні дослідження, методичні підходи та аналітичні узагальнення в межах дисертації базувалися на використанні концептуальних засад системного підходу та сучасних інформаційних технологій. Виконання завдань дисертаційного дослідження передбачало використання як загальнонаукових (аналіз, синтез, конкретизація, аналогія та моделювання) та емпіричних (спостереження, опис та порівняння) методів пізнання, так і спеціалізованих методичних підходів лісівничої науки щодо прогнозування ходу росту лісових насаджень, оцінювання біопродуктивності й вуглецедепонувальної здатності. У дисертації також використано базові методи математичної статистики для оцінювання робочих масивів даних та результатів моделювання. Камеральну обробку натурних дослідних даних виконано з використанням спеціальних біометричних програм, розроблених науковцями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано практичні засади комплексного оцінювання особливостей росту, біопродуктивності та вуглецедепонувальної функції модальних соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження, які визначають наукову новизну дослідження та полягають у такому:

вперше:

– розроблено математичні моделі динаміки таксаційних показників та таблиці ходу росту модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження для п'яти найпоширеніших типів лісу;

– запропоновано нормативні таблиці біопродуктивності та вуглецедепонувальної здатності модальних соснових деревостанів на типологічній основі, як практичний інструментарій радіоекологічного моніторингу лісових екосистем регіону дослідження;

– здійснено загальну оцінку фітомаси, первинної продукції та вуглецедепонувальної функції модальних соснових насаджень регіону дослідження;

удосконалено нормативно-інформаційне забезпечення для оцінювання біопродуктивності та екосистемних функцій лісових фітоценозів з урахуванням впливу типологічних особливостей на ріст та розвиток модальних соснових насаджень;

отримало подальший розвиток:

– дослідження росту й біопродуктивності лісів Українського Полісся на основі системного підходу;

– формування практичного інструментарію для впровадження низько-вуглецевого розвитку регіонального лісового господарства.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження у вигляді комплексу математичних моделей особливостей росту модальних соснових деревостанів та системи нормативно-інформаційного забезпечення для оцінювання біопродуктивності насаджень сосни звичайної в різних типах лісу в межах досліджуваного регіону передано для практичного використання Київському обласному та по м. Києву управлінню лісового та мисливського господарства, а також Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику.

Отримані результати також використовуються в навчальному процесі Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України під час викладання дисциплін для ОС «Магістр» за спеціальністю «Лісове господарство».

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно опрацьовано літературні джерела, методи й методика, проведено інформаційний пошук, проаналізовано та оброблено статистичними методами дослідні дані, а також розроблено математичний і табличний інструментарій для прогнозування росту та оцінювання біопродуктивності й вуглецедепонувальної функції модальних соснових насаджень регіону дослідження. Здобувачем сформульовано основні наукові положення, обґрунтовано висновки та пропозиції виробництву, які є його науковим доробком.

Апробація результатів дисертації. Основні результати та теоретичні положення дисертації апробовано на: Міжнародному форумі студентів, аспірантів і молодих вчених (м. Дніпро, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Виклики ХХІ століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (м. Київ, 2015 р.); науково-технічній конференції

«Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем» (м. Львів, 2015, 2016 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ліс, наука, молодь» (м. Житомир, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Здоров'я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства» (м. Київ, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів» (м. Київ, 2018 р.).

Публікації. Основні наукові положення за темою дисертації опубліковано в 16 наукових працях, з яких 4 статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття в науковому виданні іншої держави, авторське свідоцтво на науковий твір, науково-методичні рекомендації та 9 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел (190 найменувань) і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 168 сторінок. Основна частина дисертації містить 41 таблицю і 16 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1 «Сучасний стан дослідження біопродуктивності лісів та вуглецевих потоків у лісових фітоценозах». В умовах невинного наближення до незворотних змін у навколишньому середовищі, що зумовлені надмірним антропічним впливом на природні процеси в екосистемах Землі, людство прагне якнайшвидше вплинути на динамічні негативні прояви глобальних кліматичних явищ.

Активна участь України в міжнародній кліматичній діяльності спонукає до формування наукового підґрунтя для впровадження системних заходів щодо забезпечення компенсації емісії вуглецю його біологічною фіксацією, зокрема й у фітомасі лісових фітоценозів. Однією з ключових складових цієї системи є комплекс нормативно-довідкових матеріалів, що відображають кількісну оцінку біопродуктивності та вуглецедепонувальної здатності лісів, а тому розвиток досліджень у цьому напрямі лісівничої науки створює передумови для вирішення регіональних задач інтенсифікації низьковуглецевого лісового господарства.

Динамічні зміни концентрації вуглекислого газу в атмосфері Землі з кожним роком посилюють наслідки парникового ефекту, а відповідно й усвідомлення майбутніх наслідків глобальних кліматичних змін. Нині понад 50 % щорічної емісії CO₂ депонується в результаті фотосинтезу рослинністю наземних та водних екосистем (Canadell J. and others, 2007; Lesiv M. and others, 2018), водночас лісові фітоценози розглядаються як найперспективніші із позиції приросту можливого потенціалу депо вуглецю. У цьому контексті дослідження біологічної продуктивності лісів, які стартували ще в першій половині минулого століття, сьогодні набувають особливого значення (Василишин Р. Д., 2016, 2018; Лакида М. О., 2017; Шпаківська І. М., 2009).

Вагомий внесок у науковий доробок дослідження біопродуктивності лісів було зроблено під час функціонування Міжнародної біологічної програми. Цей період характеризується напрацюванням значної кількості описових дослідних даних, які водночас, потребували значного математичного узагальнення. Значний обсяг експериментального матеріалу, зібраного в межах Міжнародної біологічної програми, став основою для значної кількості наукових праць, серед яких варто виокремити роботи Н. І. Базилевич (1993), З. П. Білоуса та ін. (1975), О. С. Ватковського (1968), М. А. Голубця та ін. (1975), К. В. М'якушка (1972), Л. І. Половнікова (1970), Л. Є. Родіна, Н. І. Базилевич (1965), А. І. Уткіна (1982, 1990) та ін.

Сучасні дослідження біологічної продуктивності українських лісів, які поєднують біоценотичні та ресурсні підходи, характерні для наукових робіт представників наукової школи П. І. Лакиди (Білоус А. М., 2016; Блищик І. В., 2008; Блищик В. І., 2014; Бокоч В. В., 2015; Васишин Р. Д., 2014; Гілітуха Д. В., 2016; Домашовець Г. С., 2009; Ковалевський С. С., 2017; Ковальська С. С., 2018; Лашенко А. Г., 2004; Матушевич Л. М., 2006; Матейко І. М., 2016; Мельник О. М., 2018; Морозюк О. В., 2010; Петренко М. М., 2002; Сендзюк Р. В., 2010; Швець Ю. П., 2014 та ін.). Розроблений ними комплекс нормативно-інформаційного забезпечення для оцінювання фітомаси, мортмаси та первинної продукції лісових фітоценозів України слугує науковим базисом для прийняття управлінських рішень щодо збалансованого використання лісових ресурсів на засадах сталого розвитку.

У забезпеченні глобального кругообігу вуглецю важливе місце належить фітоценозам Землі, які не тільки є джерелом емісії вуглецю в результаті автотрофного дихання й окислення (спалювання, біодеструкція) органічної речовини, а й забезпечують його стік з атмосфери в результаті фотосинтезу. У цьому контексті саме чиста первинна продукція відображає кількісне співвідношення автотрофного дихання та фотосинтезу у вигляді накопичення органічної речовини в тканинах рослин за одиницю часу на одиниці площі (Васишин Р. Д., 2014; Лакида П. І., Блищик В. І., Блищик І. В., 2017; Швиденко А. З., 2012; Shvidenko A., Schepaschenko D., Nilsson S., 2007).

Дослідженню чистої первинної продукції та вуглецедепонувальної здатності українських лісів присвячено роботи як вітчизняних, так і закордонних вчених (Білоус А. М., 2016; Блищик В. І., 2014; Васишин Р. Д., 2014; Лакида П. І., Блищик В. І., Блищик І. В., 2017; Приліпко І. С., 2017; Швиденко А. З. та ін., 2014; Lesiv M. and other, 2018). Нині основними джерелами інформації для впровадження майбутньої української системи оцінки запасів і потоків вуглецю, на думку Т. Ю. Бедернічека (2017), мають стати: верифіковані лісовпорядні матеріали; верифіковані результати обстежень ґрунтів з особливим акцентом на різні за стійкістю фракції органічної речовини ґрунту, а також дані дистанційного зондування Землі, які повинні базуватися на едафічній сітці Погребняка.

Досить поширеними є також дослідження вуглецевих потоків у лісових фітоценозах серед світового наукового співтовариства (Alberdi I. and others, 2020; Canadell J. and others, 2007; Gomez-Garcia E., 2020; Gusti M.,

Kindermann G., 2011; Luyssaert S. and others, 2010; Woodwell G. M. and others, 1978; Zianis D., 2005), що вказує на високу актуальність цього спрямування лісівничої науки.

В Україні важливим елементом лісового біорізноманіття є соснові деревостани, які слугують вагомою складовою лісоресурсного потенціалу. Охоплюючи понад 30 % вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок у межах лісового фонду України («Довідник лісового фонду України», 2011) та домінуючи у видовій структурі лісів Українського Полісся, соснові насадження виконують комплекс екологічних, соціальних та економічних функцій.

Науковий інтерес до соснових деревостанів був спочатку зумовлений їхньою лісосировинною цінністю (Білоус А. М., Кашпор С. М., Миронюк В. В. та ін., 2020), а в кінці ХХ століття активізувався процес екологізації лісотаксаційної науки, який призвів до появи низки дослідницьких робіт, пов'язаних із вивченням біопродукційного потенціалу лісів, зокрема й соснових насаджень (Лакида П. І., 2002; Петренко М. М., 2002; Лакида І. П., 2013; Лакида М. О., 2017 та ін.).

Щодо сосняків Чорнобильської зони відчуження, то науковий доробок тут пов'язаний з дослідженням таксаційної будови (Свинчук В. А., Зібцев С. В., Борсук О. А., 2013), моніторингом екологічного стану (Зібцев С. В., 2013), репродуктивною здатністю рослин сосни звичайної (Бондар Б. О., 2015), оцінкою впливу радіації на радіальний приріст (Holiaka D. and others, 2020) тощо. Водночас залишаються питання, які ще потребують дослідження, а тому оцінка особливостей росту та біопродуктивності соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження слугує науковим базисом забезпечення сталого лісоуправління лісами на радіаційно забруднених територіях.

Розділ 2 **«Характеристика регіону дослідження»**. За лісорослинним районуванням і ґрунтово-кліматичними умовами регіон Чорнобильської зони відчуження належить до зони Українського Полісся, підзони Київського Полісся, та займає Поліську низовину Східно-Європейської рівнини (Архипов М. П. та ін. 1996; «Літопис природи», 2020).

Кліматичні умови території зони відчуження визначаються комплексом таких фізико-географічних чинників, як географічне положення та особливості циркуляції водних і повітряних мас. Зокрема взимку дуже розвинена циклонічна діяльність, при якій проходження західних і північно-західних циклонів часто супроводжується короткотривалим потеплінням, інтенсивними снігопадами та хуртовинами. Весняний період характеризується активним підвищенням температури повітря, інтенсивним таненням снігового покриву і швидким просиханням ґрунту.

Сприятливі природні ґрунтово-кліматичні умови регіону зумовили формування лісів із різноманітним видовим складом. Ліси Чорнобильської зони відчуження за 30-річний період зазнали значних трансформаційних процесів, що були зумовлені обмеженістю впливу людської господарської діяльності, зокрема частка соснових насаджень у структурі лісового фонду регіону зменшилася майже на 20 % (Кучма М. Д. та ін., 1998).

Нині площа лісових ділянок Чорнобильської зони відчуження, вкритих лісовою рослинністю, становить понад 140 тис. га, на яких зосереджено понад 30 млн м³ стовбурового запасу. Частка соснових насаджень у структурі лісового фонду досліджуваного регіону становить близько 60 % за площею та 70 % за запасом. У віковій структурі лісового фонду домінують середньовікові насадження (понад 65 %) природного походження (близько 67 %). Майже 60 % території лісового фонду Чорнобильської зони відчуження представлені суборами.

Наразі в регіоні дослідження площа соснових насаджень становить понад 85 тис. га, а загальний обсяг акумульованого стовбурового запасу досягає 24,5 млн м³. Тут домінують середньоповнотні (понад 60 %) високобонітетні сосняки, площа яких у I і вище класах бонітету становить понад 55 тис. га, або 66,7 %. За походженням переважають штучні насадження (51,9 %). За віковою структурою розподіл площ лісових ділянок такий: середньовікові – 68,7 %, молодняки – 18,3 %, пристиглі – 9,7 %, стиглі – 3,2 %.

Чисті соснові деревостани трапляються на понад 50 % ділянок вкритих лісовою рослинністю. Ще третина насаджень характеризуються часткою участі сосни звичайної в складі досліджуваних насаджень у діапазоні від 7 до 9 одиниць (34,4 %).

У межах досліджуваного регіону сосна звичайна переважно росте у свіжих суборах та борах, а також у вологих суборах та сухих борах. Загалом у суборах регіону зосереджено майже 68 % сосняків. Водночас майже половина соснових деревостанів регіону росте у свіжому дубово-сосновому суборі (48,5 %). Серед панівних типів лісу є також сухий сосновий бір (3,8 %), свіжий сосновий бір (23,4 %), вологий дубово-сосновий субір (18,3 %) та вологий грабово-дубово-сосновий сугруд (1,9 %). Загалом, сумарна частка вказаних типів лісу в загальній типологічній структурі соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження становить 95,9 %.

Одержані дані слугували інформаційною основою для виконання завдань дисертаційного дослідження та дозволили встановити базові чинники, що визначають особливості біопродукційного процесу в лісових фітоценозах досліджуваного регіону.

Розділ 3 «Методичні аспекти дослідження та характеристика дослідних даних». Для виконання завдань дисертаційного дослідження за основу використано методіку збору та обробки дослідного матеріалу, розроблену П. І. Лакидою (2002), яка дає можливість дослідити кількісні значення параметрів фітомаси соснових деревостанів та забезпечує вдале поєднання таксаційних та біометричних підходів. У межах дисертації ця методика поєднана з методичними підходами відбору дослідних зразків для моделювання ходу росту модальних деревостанів. За методичний базис для оцінювання чистої первинної продукції, а відповідно й вуглецедепонувальної здатності модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження слугував «напівемпіричний» метод, запропонований А. З. Швиденком (2006).

Для встановлення кількісних показників біопродуктивності та вуглецедепонувальної функції соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження

в дисертації використано дані 18 тимчасових пробних площ, взятих із міжнародної бази даних «Biomass plot data base» (2017), що характеризують сосняки досліджуваного регіону, а також 12 тимчасових пробних площ, закладених у соснових деревостанах регіону дослідження та суміжних територій науковцями кафедр таксації лісу та лісового менеджменту і лісівництва Національного університету біоресурсів і природокористування України в насадженнях досліджуваного регіону. Для верифікації даних щодо ходу росту соснових насаджень у поєднанні з інформацією з бази даних ВО «Укрдержліспроект» використано польові дослідні матеріали з наукових джерел, які характеризують природні (Лакида П. І., Алексіюк І. Л., 2017) та штучні (Лакида П. І., Терентьев А. Ю., Васишин Р. Д., 2012) соснові деревостани Українського Полісся.

Усі пробні площі було підібрано та закладено за єдиною методикою згідно з лісівничими та лісотаксаційними вимогами в панівних типах лісорослинних умов (ТЛУ), що представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл кількості тимчасових пробних площ за класами бонітету та панівними типами лісорослинних умов, шт.

Індекс ТЛУ	Клас бонітету				Усього
	I ^a	I	II	III	
A ₁	–	–	–	4	4
A ₂	–	3	5	–	8
B ₂	5	4	3	–	12
B ₃	1	5	–	–	6
Разом	6	12	8	4	30

Розподіл тимчасових пробних площ за віком, класами бонітету та відносною повнотою певним чином відображає структуру соснових лісів досліджуваного регіону. Віковий діапазон букових насаджень, де закладалися тимчасові пробні площі, коливається в межах від 18 до 97 років, вони характеризувалися I^a, I, II та III класами бонітету та діапазоном відносної повноти – від 0,55 до понад 1,0.

Для моделювання динамічних трендів таксаційних показників соснових насаджень у межах типів лісу в роботі використано таксаційну характеристику понад 20 тис. лісових ділянок.

Моделювання динаміки таксаційних показників модальних природних соснових деревостанів у межах п'яти типів лісу (сухий сосновий бір (A₁-С), свіжий сосновий бір (A₂-С), свіжий дубово-сосновий суббір (B₂-дС), вологий дубово-сосновий суббір (B₃-дС) та вологий грабово-дубово-сосновий сугруд (С₃-г-дС) здійснено з використанням ростової функції Берталанфі або Чапмана-Річардса (1) та алометричних залежностей, які здатні описати особливості ростових процесів у соснових деревостанах досліджуваного регіону.

$$Y = a \cdot (1 - e^{-bA})^c, \quad (1)$$

де A – вік, років; a – параметр, що визначає максимальне значення показника; b – параметр, що визначає характер нахилу кривої; c – параметр, що визначає форму кривої.

Для перевірки відмінностей однорідних груп використано статистичні методи, що базуються на достовірній різниці в їхніх вибіркових середніх значеннях. Статистично достовірну відмінність у середніх значеннях двох вибірок встановлено за критерієм *t*-Стюдента, який дозволив оцінити подібності та відмінності росту соснових насаджень різного походження в різних типах лісу.

За методичну основу для оцінювання біопродуктивності слугували математичні залежності конверсійних коефіцієнтів, які відображають відношення маси певної фракції фітомаси до запасу насадження в корі. У процесі моделювання компонентів фітомаси соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження було використано функцію від віку, типу лісорослинних умов та відносної повноти. Результатом багатоваріантного пошуку став такий аналітичний вираз:

$$R_v = \frac{Ph_{fr}}{M} = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot K_{ТЛУ}^{a_2} \cdot P^{a_3}, \quad (2)$$

де R_v – відношення маси окремих фракцій фітомаси насадження (стовбур, деревина гілок крони, листя, хвоя, коріння) до запасу насадження; Ph_{fr} – маса окремих фракцій фітомаси; M – запас деревостану; A – середній вік насадження, роки; $K_{ТЛУ}$ – код типу лісорослинних умов; P – відносна повнота модального насадження; a_1, a_2, \dots, a_5 – коефіцієнти регресії.

Значення коефіцієнтів регресії та окремих статистичних параметрів одержаних математичних моделей наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів та статистична оцінка моделей конверсійних коефіцієнтів

Фракція фітомаси	Коефіцієнт рівняння				R^2	$F_{\text{факт}}$
	a_0	a_1	a_2	a_3		
Стовбур у корі	0,2240	-0,0187	0,4371	-0,0091	0,74	37,5
Гілля	0,0725	-0,5819	1,1020	-0,0939	0,51	25,3
Хвоя	0,1628	-1,0428	1,0857	-0,4737	0,64	31,7
Коріння	0,3015	-0,3081	0,5324	-0,2227	0,58	26,2

Оцінювання фітомаси таких елементів фітоценозу, як піднаметова рослинність та живий наґрунтовий покрив здійснено на основі математичних залежностей запропонованих А. З. Швиденком (2006).

Науковим базисом використаного методичного підходу для оцінювання чистої первинної продукції слугує твердження про те, що її значення у віці A є аналогією до річного зростання загальної продукції фітомаси (або загального приросту фітомаси) $ЗПрФ_A$, тобто це маса органічної речовини, виробленої екосистемою за одиницю часу (Швиденко А. З. та ін., 2006, 2008, 2012, 2014). Це твердження можна відобразити таким виразом:

$$ЗПрФ_A = ЧПП_A + ЗПФ_A - ЗПФ_{A-1}, \quad (3)$$

де $ЗПФ_A$ – загальна (накопичена) кількість фітомаси, продукованої лісовою екосистемою протягом її життєвого циклу до віку A , визначається в одиницях маси на одиницю площі (в абсолютно сухій речовині).

Методичною основою оцінювання екологічно безпечного енергетичного потенціалу деревної біомаси соснових насаджень досліджуваного регіону слугували теоретико-методологічні засади та методичні підходи, розроблені Р. Д. Василюшиним (2014).

Використаний дослідний матеріал та методичні підходи цілком забезпечують можливість вирішення завдань дисертаційного дослідження щодо оцінювання особливостей росту, біопродуктивності та вуглецедепонувальної функції соснових лісів Чорнобильської зони відчуження.

Розділ 4 «**Особливості біопродукційного процесу та вуглецедепонувальна функція соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження**». Нині перевага використання регіональних нормативів ходу росту полягає в їхній здатності описувати та оцінювати динамічні процеси в лісових насадженнях, враховуючи вплив сукупності чинників, що формують особливості росту та розвитку лісових насаджень у конкретних умовах (Василюшин Р. Д., 2016; Лакида П. І., 2002; Миклуш С. І., 2011; Швиденко А. З. та ін., 2008; Слюсарчук В. В., 2020).

У результаті дослідження запропоновано математичну модель середньої висоти модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження на основі ростової функції (1).

Значення коефіцієнтів регресії та статистичну оцінку моделей середньої висоти соснових насаджень у різних типах лісу наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів функції (1) для моделей середньої висоти соснових деревостанів у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнт рівняння			R^2
	a	b	c	
A ₁ -С	25,896	0,021	1,512	0,80
A ₂ -С	26,477	0,027	1,540	0,82
B ₂ -дС	28,736	0,031	1,688	0,88
B ₃ -дС	28,640	0,031	1,833	0,86
C ₃ -г-дС	29,748	0,039	2,227	0,83

Для моделювання динаміки середнього діаметра використано його залежність від таких таксаційних показників, як вік (A) та середня висота (H). У результаті одержано математичні моделі, які з високим рівнем опису вихідних дослідних даних ($R^2=0,82-0,86$) прогнозують динаміку середнього діаметра модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження. Її загальний вигляд такий:

$$D = a_0 \cdot \exp(H^{a_1}) \cdot (1 - \exp(-a_2 \cdot A))^{a_3}. \quad (4)$$

Оскільки як фактори функції використано вік та середню висоту, ця залежність слугує для моделювання динаміки середнього діаметра модальних соснових деревостанів регіону дослідження в межах різних типів лісу.

У результаті багатоваріантного пошуку адекватних моделей росту для побудови моделей суми площ поперечного перерізу (G) було використано таку математичну залежність:

$$G = a_0 \cdot H^{a_1} \cdot (1 - \exp(-a_2 \cdot A))^{a_3} . \quad (5)$$

Значення коефіцієнтів регресії та статистичну оцінку моделей середнього діаметра та суми площ поперечного перерізу наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів функції (4 та 5) для моделей середнього діаметра та суми площ поперечного перерізу соснових деревостанів у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнт рівняння				R^2
	a_0	a_1	a_2	a_3	
Моделі середнього діаметра					
A ₁ -С	16,943	0,034	-0,016	1,027	0,82
A ₂ -С	9,559	0,050	-0,025	0,992	0,84
B ₂ -дС	7,084	0,060	-0,030	0,915	0,84
B ₃ -дС	14,195	0,038	-0,028	1,012	0,86
С ₃ -Г-дС	16,966	0,031	-0,026	1,121	0,83
Моделі суми площ поперечного перерізу					
A ₁ -С	7,013	0,523	-0,154	7,094	0,72
A ₂ -С	14,698	0,288	-0,145	8,605	0,74
B ₂ -дС	23,929	0,139	-0,147	10,012	0,78
B ₃ -дС	22,776	0,141	-0,140	9,306	0,76
С ₃ -Г-дС	19,048	0,214	-0,166	10,013	0,73

Запас деревостану – один з базових таксаційних показників, що визначає його продуктивність. Отже, для моделювання запасу та загальної продуктивності соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження використано кількісні показники середньої висоти, відносної повноти (P) та коефіцієнту складу насадження (Kc). У результаті багатоваріантного пошуку адекватних моделей росту обрано таку математичну залежність:

$$M = a_0 \cdot Kc \cdot P \cdot (1 - \exp(-a_1 \cdot H))^{a_2} . \quad (6)$$

Значення відносної повноти соснових насаджень було встановлено з урахуванням співвідношення між сумами площ поперечних перерізів досліджуваного та нормального (табличного) насадження (Білоус А. М., Кашпор С. М., Миронюк В. В. та ін., 2020).

Статистична оцінка використаного рівняння 6 для моделювання запасу насадження та його загальної продуктивності, а також кількісні значення коефіцієнтів регресії наведено в табл. 5.

Загальну продуктивність визначено як суму запасу ростучого насадження та нагромадження запасів відпаду.

У модальних соснових насадженнях досліджуваного регіону в окремих випадках формуються мішані деревостани. Отже, за матеріалами повидільної бази даних встановлено залежність зміни частки досліджуваного виду в складі деревостану з віком. Згадана залежність, яка є складовою моделі динаміки запасу та загальної продуктивності, має такий вигляд:

$$C = a_0 + a_1 \cdot A + a_2 \cdot A^2 , \quad (7)$$

де C – коефіцієнт складу (частка сосни звичайної) насадження.

Значення коефіцієнтів функції (6) для моделей запасу та загальної продуктивності соснових деревостанів у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнт рівняння			R^2
	a_0	a_1	a_2	
Моделі запасу насадження				
A ₁ -С	149,245	-0,032	1,809	0,87
A ₂ -С	169,764	-0,033	1,901	0,94
B ₂ -дС	188,236	-0,028	1,774	0,93
B ₃ -дС	141,602	-0,040	1,845	0,88
C ₃ -Г-дС	142,395	-0,037	1,788	0,84
Моделі загальної продуктивності насадження				
A ₁ -С	244,873	-0,033	2,112	0,94
A ₂ -С	303,952	-0,032	2,220	0,95
B ₂ -дС	273,334	-0,037	2,452	0,94
B ₃ -дС	332,817	-0,029	2,063	0,84
C ₃ -Г-дС	250,617	-0,036	2,209	0,83

Кількісні значення коефіцієнтів рівняння 7 наведено в табл. 6.

Значення коефіцієнтів залежності (6) для моделей коефіцієнтів складу соснових насаджень у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнт рівняння			R^2
	a_0	a_1	a_2	
A ₁ -С	8,894	0,016	$-0,008 \cdot 10^{-2}$	0,37
A ₂ -С	7,782	0,044	$-0,022 \cdot 10^{-2}$	0,71
B ₂ -дС	6,473	0,063	$-0,003 \cdot 10^{-1}$	0,81
B ₃ -дС	4,333	0,088	$-0,004 \cdot 10^{-1}$	0,74
C ₃ -Г-дС	4,421	0,048	$-0,002 \cdot 10^{-1}$	0,52

Графічна інтерпретація змодельованих динамічних трендів у межах досліджуваних деревостанів наочно відображена на рис. 1.

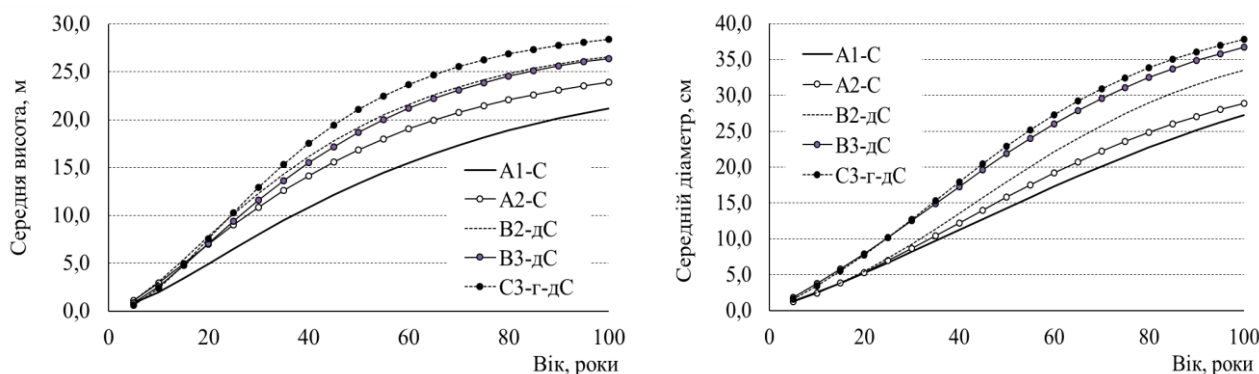


Рис. 1. Динаміка основних таксаційних показників модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження

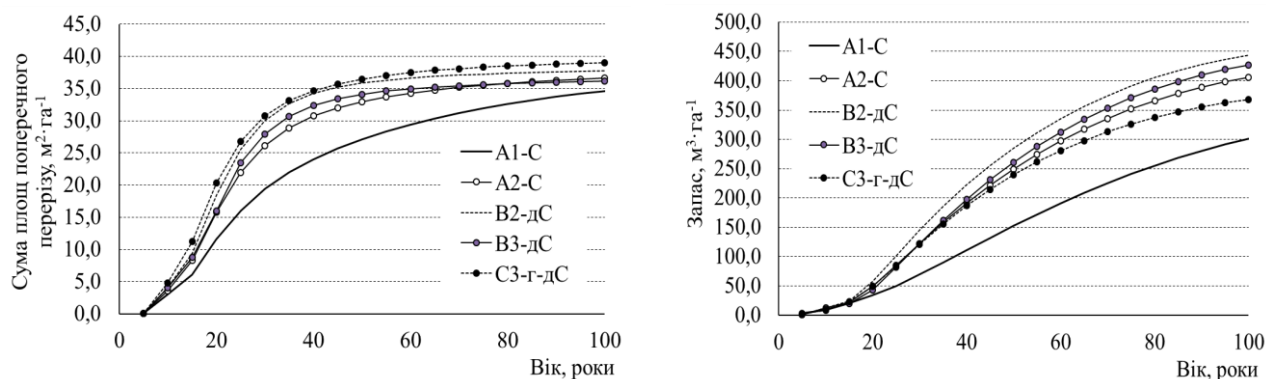


Рис. 1. Динаміка основних таксаційних показників модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження (продовження рисунку)

Одержані математичні моделі динаміки основних таксаційних показників модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження є основою для складання відповідних таблиць ходу росту. Фрагмент указаних нормативів для таксації модальних соснових деревостанів у свіжому сосновому бору представлено в табл. 7.

Таблиця 7

Хід росту модальних соснових деревостанів у свіжому сосновому бору

Вік, років	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Кількість дерев, шт.	Сума площ поперечних перерізів, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Зміна запасу, м ³ ·га ⁻¹ ·рік ⁻¹		Загальна продуктивність, м ³ ·га ⁻¹	Загальний приріст, м ³ ·га ⁻¹ ·рік ⁻¹	
						середня	поточна		середній	поточний
20	7,0	5,3	7091	15,8	50	2,5	6,3	55	2,8	6,8
40	14,2	12,2	2619	30,7	191	4,8	6,4	237	5,9	9,2
60	19,0	19,2	1189	34,3	297	5,0	4,3	397	6,6	6,7
80	22,1	24,8	739	35,8	366	4,6	2,7	507	6,3	4,3
100	23,9	28,9	558	36,7	406	4,1	1,4	573	5,7	2,4
120	25,0	31,6	473	37,1	424	3,5	0,4	604	5,0	0,8

Розроблені таблиці ходу росту відображають особливості формування модальних соснових деревостанів в умовах Чорнобильської зони відчуження та є складовою системи нормативно-інформаційного забезпечення як лісогосподарського виробництва, так і лісотаксаційної науки.

Для ефективного вирішення завдань щодо формування екологічного потенціалу соснових насаджень досліджуваного регіону необхідна також об'єктивна оцінка параметрів динаміки біопродуктивності лісів на основі відповідного адекватного нормативного інструментарію. З цією метою на основі моделей динаміки таксаційних показників та моделей конверсійних коефіцієнтів компонентів фітомаси розроблено таблиці біопродуктивності

соснових насаджень на типологічній основі, які відображають динамічні тренди обсягів фітомаси в межах складових компонентів.

Фрагмент згаданих таблиць біопродуктивності соснових деревостанів у свіжому сосновому бору наведено в табл. 8.

Таблиця 8

**Біопродуктивність модальних соснових деревостанів
у свіжому сосновому бору**

Вік, роки	Деревостан							Загальна продуктивність фітомаси, т·га ⁻¹	Загальний приріст фітомаси, т·га ⁻¹ ·рік ⁻¹	
	середня висота, м	середній діаметр, см	фітомаса, т·га ⁻¹				середній		поточний	
			деревина стовбура в корі	крона		піднаметова рослинність				загальна
				хвоя	гілки					
20	7,0	5,3	19,3	2,1	3,1	1,9	26,4	29,7	1,5	3,4
40	14,2	12,2	73,5	3,3	7,6	2,8	87,3	111,0	2,8	4,0
60	19,0	19,2	113,3	3,4	9,4	3,9	130,0	178,7	3,0	2,8
80	22,1	24,8	138,8	3,2	9,8	4,9	156,7	222,8	2,8	1,7
100	23,9	28,9	153,4	2,8	9,5	5,6	171,4	248,6	2,5	0,8
120	25,0	31,6	159,6	2,4	9,0	6,3	177,2	257,1	2,1	0,2

Запропоновані таблиці динаміки біопродуктивності соснових насаджень є теоретичним базисом для кількісного оцінювання вуглецедепонувальної функції досліджуваних насаджень, а також для встановлення кількісних показників міграції радіонуклідів з ґрунту у фітомасу сосняків зони відчуження.

Розрахунок вуглецедепонувальної функції здійснено через перевідні коефіцієнти вуглецемісткості, запозичені з наукових джерел (Matthews G., 1993).

Кількісні значення поточного приросту депонованого вуглецю, які відображають вуглецедепонувальну здатність модальних соснових насаджень досліджуваного регіону, наведено в табл. 9.

Таблиця 9

**Динаміка вуглецедепонувальної здатності модальних
соснових деревостанів**

Вік, років	Поточний приріст депонованого вуглецю за типами лісу, т·га ⁻¹ ·рік ⁻¹				
	A ₁ -С	A ₂ -С	B ₂ -дС	B ₃ -дС	C ₃ -г-дС
20	0,78	1,67	1,83	1,47	1,37
40	1,30	1,96	2,26	2,09	1,87
60	1,16	1,39	1,47	1,49	1,17
80	0,86	0,84	0,85	0,92	0,65
100	0,56	0,41	0,39	0,44	0,31
120	0,34	0,11	0,08	0,09	0,10

У межах дисертації, окрім наведеного раніше нормативного інструментарію, проведено також загальну оцінку біопродуктивності лісів Чорнобильської зони відчуження на основі даних обліку лісів досліджуваного

регіону. Загалом встановлено, що загальна фітомаса соснових насаджень регіону оцінюється на рівні 15 млн т сухої органічної речовини, або в середньому це становить близько 18 кг сухої органічної речовини на 1 м² вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок. Понад 50 % обсягів фітомаси соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження зі щільністю 18,8 кг·(м²)⁻¹ зосереджено у свіжих суборах. Близько 40 % обсягу досліджуваного показника акумульовано у вологих суборах (20,8 %) та свіжих борах (19,9 %), де середня щільність органічної речовини живих рослин становить 19,6 та 15,2 кг·(м²)⁻¹ відповідно. Сосновими деревостанами Чорнобильської зони відчуження щорічно продукується близько 800 тис. т живої органічної речовини, а щільність первинної продукції становить понад 935 г·(м²)⁻¹·рік⁻¹. За цим показником досліджувані насадження переважають аналогічні значення для сосняків Київської області загалом на понад 10 %.

Чиста первинна продукція соснових лісів досліджуваного регіону становить близько 400 тис. т вуглецю на рік (табл. 10).

Таблиця 10

Чиста первинна продукція соснових деревостанів в межах груп віку

Група віку	Чиста первинна продукція	
	тис. т вуглецю	г С·(м ²) ⁻¹
Молодняки	64,0	428
Середньовікові	285,8	474
Пристигли	33,9	405
Стигли	9,3	342
Перестиглі	0,05	323
Разом/середнє	393,0	463

Середня інтенсивність вуглецедепонувальної здатності досліджуваних насаджень становить близько 460 г С·(м²)⁻¹, що в порівнянні із сосняками Київщини вище на майже 8 %. Водночас, найінтенсивніше депонують вуглець середньовікові насадження – 474 г С·(м²)⁻¹. Близько 70 % чистої первинної продукції наразі зосереджено у відносно бідних лісорослинних умовах (суборах). У процесі дослідження встановлено також вплив трофності та вологості на інтенсивність вуглецедепонувальної здатності досліджуваних сосняків у межах типів лісу. Зокрема зафіксовано зниження цього показника від 580 г С·(м²)⁻¹ у вологому грабово-дубово-сосновому сугруді до 344 г С·(м²)⁻¹ у сухому сосновому борі.

Для ефективного вирішення завдань щодо оцінювання лісоенергетичних можливостей лісгосподарського виробництва в регіоні дослідження в дисертації запропоновано кількісні значення екологічно безпечного енергетичного потенціалу лісів Чорнобильської зони відчуження. Враховуючи, що кількісними обмежувальними критеріями екологічно безпечного енергетичного потенціалу деревної біомаси в лісах зони відчуження є вміст радіонуклідів на рівні 600 Бк·кг⁻¹ для (137) Cs та 60 Бк·кг⁻¹ для (90) Sr, деревну біомасу за критерієм (90) Sr не варто використовувати для прямого спалювання.

Кількісні значення досліджуваного потенціалу досягають рівня 30 тис. м³ деревної біомаси. Резервом для збільшення встановленого енергетичного

потенціалу може також бути запас сухостійних дерев (близько 3–4 м³ на 1 га), а також деревна біомаса від проведення розчищення кварталних просік – майже 10 м³ на 1 га. Енергетичне використання цього ресурсу можливе лише через спалювання в спеціальних котельнях з високим рівнем екологічної безпеки.

Впровадження науково обґрунтованих підходів до використання екологічного потенціалу соснових лісів досліджуваного регіону слугуватиме складовою формування регіональної стратегії сталого розвитку.

ВИСНОВКИ

Використання базових принципів системного підходу дозволили одержати комплексні результати дисертаційного дослідження, які відображають біопродуктивність та вуглецедепонувальну здатність соснових лісів Чорнобильської зони відчуження. За результатами виконаних завдань дисертації можна зробити такі висновки:

1. Тенденції розвитку людської спільноти вказують на необхідність впровадження механізмів пом'якшення наслідків глобальних кліматичних змін, зокрема й засобами лісового господарства, зокрема пов'язаними з екологізацією виробництва та забезпеченням сталого використання екосистемних функцій лісів. Важлива роль у цьому контексті належить вуглецедепонувальній здатності лісів та особливостям формування вуглецевого бюджету лісових екосистем.

2. Лісівничо-таксаційна характеристика соснових лісів Чорнобильської зони відчуження слугувала інформаційним базисом для дослідження біологічної продуктивності та вуглецедепонувальної функції. Модальні соснові деревостани в регіоні дослідження займають площу понад 85 тис. га вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок та характеризуються такими середніми таксаційними показниками: вік – 63 роки, висота – 20,3 м, діаметр – 25,3 см, відносна повнота – 0,74, стовбуровий запас 228 м³ (га)⁻¹. Встановлено, що на 95,9 % площ соснових лісів регіону деревостани сформовані в таких типах лісу як сухий сосновий бір, свіжий сосновий бір, свіжий дубово-сосновий суббір, вологий дубово-сосновий суббір та вологий грабово-дубово-сосновий сугруд.

3. Як дослідний матеріал у процесі виконання завдань дисертаційного дослідження використано показники 18 тимчасових пробних площ, взяті з міжнародної бази даних «Biomass plot data base», а також 12 тимчасових пробних площ, закладених у соснових деревостанах регіону дослідження та суміжних територій науковцями кафедр таксації лісу та лісового менеджменту і лісівництва Національного університету біоресурсів і природокористування України.

4. За методичну основу оцінювання та прогнозування біопродуктивності й вуглецедепонувальної функції соснових лісів слугували запропонований А. З. Швиденком «напівемпіричний» метод та розроблені математичні моделі конверсійних коефіцієнтів, а для моделювання динаміки таксаційних

показників модальних соснових деревостанів використано ростову функцію Чапмана-Річардса та алометричні залежності.

5. Розроблено систему моделей динаміки таксаційних показників та комплекс таблиць ходу росту на типологічній основі, які відображають особливості росту сосняків у таких типах лісу, як сухий сосновий бір, свіжий сосновий бір, свіжий дубово-сосновий суббір, вологий дубово-сосновий суббір та вологий грабово-дубово-сосновий сугруд.

6. Запропоновано нормативно-інформаційне забезпечення для оцінювання біопродуктивності та вуглецедепонувальної здатності модальних соснових деревостанів на типологічній основі та встановлено обсяг фітомаси соснових насаджень регіону на рівні 15 млн т сухої органічної речовини. Понад 70 % згаданих обсягів фітомаси зосереджено в сосняках свіжого (50,2 %) та вологого (20,8 %) дубово-соснового субору.

7. Щорічний обсяг депонованого сосновими деревостанами вуглецю становить близько 400 тис. т, а середня інтенсивність вуглецедепонувальної здатності досліджуваних насаджень – близько $460 \text{ г С} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$, водночас найінтенсивніше депонують вуглець середньовікові насадження – $474 \text{ г С} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$, а у фракційній структурі чистої первинної продукції домінує стовбур у корі з часткою понад 30 % та кореневі системи – 29,8 %, що пов'язано з формуванням тонкого коріння й вагомо впливає на загальну вуглецедепонувальну здатність досліджуваних насаджень.

8. Енергетична функція досліджуваних сосняків характеризується енергоємністю їхньої фітомаси на рівні 14 ПДж енергії. Водночас особливою умовою забезпечення використання енергетичного потенціалу лісів Чорнобильської зони відчуження на засадах сталого розвитку є відсутність у ній перевищення норм забруднення радіонуклідами, що значно обмежує можливість використання близько 30 тис. м³ деревної біомаси соснових лісів регіону.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За результатами дисертаційного дослідження для вирішення завдань щодо екологічного моніторингу лісів Чорнобильської зони відчуження, запропоновано такі матеріали для використання зацікавленими суб'єктами лісогосподарської, природоохоронної та наукової діяльності: таблиці ходу росту модальних соснових деревостанів у межах п'яти типів лісу: сухого соснового бору, свіжого соснового бору, свіжого дубово-соснового субору, вологого дубово-соснового субору та вологого грабово-дубово-соснового сугруду; нормативно-довідкові матеріали для оцінювання біологічної продуктивності та вуглецедепонувальної здатності соснових насаджень регіону; кількісні значення фітомаси та чистої первинної продукції, залежно від комплексу лісотаксаційних показників соснових насаджень; орієнтовна оцінка екологічно безпечного енергетичного потенціалу деревної біомаси в соснових лісах Чорнобильської зони відчуження та обмежувальні критерії його використання на засадах сталого розвитку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних

1. Vasylyshyn R. D., Lakyda P. I., Shevchuk O. V., **Slyva O. A.** The energy content in the live biomass components of Scots Pine trees (*Pinus sylvestris* L.). Лісове і садово-паркове господарство. 2015. Вип. 7. ULR: <http://ejournal.studnubip.com/zhurnal-7/ukr/vasylyshyn/>. *(Здобувачем особисто закладено частину пробних площ та відібрано дослідні зразки для оцінювання фітомаси дерев сосни звичайної у насадженнях, що мали ознаки радіаційного забруднення).*

2. Vasylyshyn R. D., Lakyda I. P., Shevchuk O. V., Lakyda M. O., **Slyva O. A.** Estimation of the energy intensity of live biomass components of pine stands in Ukrainian Polissya. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2015. Вип. 229. С. 12–19. *(Здобувачем особисто закладено частину пробних площ та відібрано дослідні зразки для оцінювання фітомаси соснових лісів зони відчуження).*

3. Vasylyshyn R., Lakyda I., **Slyva O.**, Lakyda M., Shevchuk O. Biotic productivity and sequestered carbon in forests of Ukrainian Polissya. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2016. Вип. 255. С. 19–27. *(Здобувачем особисто закладено частину пробних площ та відібрано дослідні зразки для оцінювання біопродуктивності соснових лісів досліджуваного регіону).*

4. Василишин Р. Д., **Слива О. А.** Хід росту модальних соснових деревостанів зони відчуження. Ukrainian Journal of Forests and Wood Science. 2020. Vol. 11. № 4. Р. 15–24. *(Здобувачем особисто здійснено розроблення моделей динаміки таксаційних показників та таблиць ходу росту соснових насаджень досліджуваного регіону).*

Стаття у науковому виданні іншої держави

5. Василишин Р. Д., Лакида П. И., Домашовец Г. С., **Слива А. А.**, Шевчук А. В., Лакида М. А. Биологическая и энергетическая продуктивность хвойных насаждений в Украинском Полесье. Проблемы лесоведения и лесоводства. 2016. Вып. 76. С. 20–29. *(Здобувачем особисто закладено тимчасові пробні площі, здійснено статистичний аналіз дослідних даних, оцінювання біопродуктивності насаджень зони відчуження).*

Авторське свідоцтво на науковий твір

6. Василишин Р. Д., **Слива О. А.**, Терентьев А. Ю. Математичні моделі динаміки середньої висоти штучних модальних соснових деревостанів у Чорнобильській зоні відчуження. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 82935 від 19.11.2018 р. Заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № 83706; заявлено 21.09.2018. *(Здобувачем особисто розроблено моделі динаміки середньої висоти соснових насаджень зони відчуження).*

Науково-методичні рекомендації

7. Лакида П. І., Василюшин Р. Д., Зібцев С. В., Терентьев А. Ю., **Слива О. А.**, Шевчук О. В., Лакида М. О. Науково-методичні рекомендації для оцінювання вуглецедепонувальної функції лісів зони відчуження та їх радіаційно-безпечного енергетичного потенціалу: науково-методичні рекомендації. К., 2015. 22 с. *(Здобувачем особисто закладено частину пробних площ, відібрано дослідні зразки для оцінювання фітомаси та опрацьовано частину нормативних таблиць для таксаційної оцінки енергоємності компонентів фітомаси букових деревостанів).*

Тези наукових доповідей

8. Василюшин Р. Д., **Слива О. А.** Біосферна роль хвойних лісів Українського Полісся. Міжнародний форум студентів, аспірантів і молодих вчених, м. Дніпропетровськ, 23–24 квітня 2015 року: тези доповіді. Дніпропетровськ, 2015. С. 347–349. *(Здобувачем особисто оцінено вуглецедепонувальну роль соснових деревостанів).*

9. **Слива О. А.**, Василюшин Р. Д., Домашовець Г. С. Типологічна структура лісів зони відчуження Чорнобильської АЕС. Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–24 квітня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 62–63. *(Здобувачем особисто оцінено структуру лісових ділянок за типами лісу).*

10. Vasylyshyn R., Lakyda I., **Slyva O.**, Shevchuk O. Quantitative evaluation of selected ecosystem functions of coniferous forests in Ukrainian Polissya. Виклики XXI століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 07–09 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 56. *(Здобувачем особисто оцінено вуглецедепонувальну функцію соснових насаджень регіону дослідження).*

11. Василюшин Р. Д., Слюсарчук В. В., Лакида М. О., Василюшин О. М., **Слива О. А.** Концептуальні напрями інтенсифікації сталого використання еколого-енергетичного потенціалу лісових фітоценозів. Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 28–31 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 104–105. *(Здобувачем особисто опрацьовано напрями інтенсифікації використання вуглецедепонувального потенціалу лісів зони відчуження).*

12. Василюшин Р. Д., **Слива О. А.**, Шевчук О. В. Динаміка біопродуктивності модальних соснових насаджень зони відчуження у свіжому дубово-сосновому суборі. Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: 65-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів, м. Львів, 24 листопада 2015 року: тези доповіді. Львів, 2015. С. 23–24. *(Здобувачем особисто опрацьовано нормативи динаміки біопродуктивності соснових насаджень зони відчуження).*

13. Василюшин Р. Д., **Слива О. А.** Біопродуктивність модальних сосняків зони відчуження у свіжому сосновому борі. Наукові основи підвищення

продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: 66-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів, м. Львів, 25 листопада 2016 року: тези доповіді. Львів, 2016. С. 18–20. *(Здобувачем особисто опрацьовано нормативи динаміки біопродуктивності соснових насаджень зони відчуження).*

14. Слива О. А. Динаміка вуглецедепонувальної здатності модальних соснових насаджень зони відчуження. Здоров'я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6–7 квітня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 56.

15. Слива О. А. Динаміка поточного приросту депонованого вуглецю модальних сосняків зони відчуження у свіжому сосновому бору. Ліс, наука, молодь: V Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, магістрів, аспірантів і молодих учених, м. Житомир, 23 листопада 2017 року: тези доповідей. Житомир, 2017. С. 168.

16. Слива О. А., Терентьев А. Ю. Динаміка середньої висоти модальних соснових деревостанів зони відчуження у свіжому сосновому бору. Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27 березня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 42. *(Здобувачем особисто опрацьовано моделі динаміки середньої висоти соснових насаджень зони відчуження).*

АНОТАЦІЯ

Слива О. А. Динаміка росту та продуктивність соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільсько-господарських наук зі спеціальності 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021.

Дисертацію присвячено дослідженню особливостей росту, біопродуктивності та вуглецедепонувальної функції соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження, що слугуватиме інформаційним інструментарієм ведення ефективного лісового господарства на радіаційно забруднених територіях.

У результаті виконання дисертаційного дослідження здійснено аналіз характеристики соснових деревостанів досліджуваного регіону, зібрано дослідні дані для оцінювання ходу росту і структури фітомаси.

Розроблено систему моделей динаміки таксаційних показників та комплекс таблиць ходу росту на типологічній основі, які відображають особливості росту сосняків у таких типах лісу, як сухий сосновий бір, свіжий сосновий бір, свіжий дубово-сосновий суббір, вологий дубово-сосновий суббір та вологий грабово-дубово-сосновий сугруд.

Запропоновано нормативно-інформаційне забезпечення для оцінювання біопродуктивності та вуглецедепонувальної здатності соснових деревостанів та встановлено обсяг фітомаси соснових насаджень регіону на рівні 15 млн т. Щорічний обсяг депонованого сосновими деревостанами вуглецю становить близько 400 тис. т, або в середньому близько $460 \text{ г С} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$.

Здійснено оцінку екологічно безпечного енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів досліджуваного регіону з урахуванням дотримання норм забруднення радіонуклідами.

Ключові слова: біопродуктивність, вуглецедепонувальна функція, енергія, насадження, сосна звичайна, таксаційна характеристика, таблиці, тип лісу, хід росту, Чорнобильська зона відчуження.

АННОТАЦІЯ

Слива О. А. Динамика роста и продуктивность сосновых насаждений Чернобыльской зоны отчуждения. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 06.03.02 «Лесоустройство и лесная таксация». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2021.

Диссертация посвящена исследованию особенностей роста, биопродуктивности и углерододепонирующей функции сосновых древостоев Чернобыльской зоны отчуждения, что является информационным инструментарием ведения эффективного лесного хозяйства на загрязненных территориях.

В результате выполнения диссертационного исследования осуществлен анализ характеристики сосновых древостоев исследуемого региона, собраны данные для оценки хода роста и структуры фитомассы.

Разработана система моделей динамики таксационных показателей и комплекс таблиц хода роста на типологическое основание, которые отражают особенности роста сосняков в таких типах леса, как сухой сосновый бор, свежий сосновый бор, свежая дубово-сосновая суборь, влажная дубово-сосновая суборь и влажный грабово-дубово-сосновый сугруд.

Предложено нормативно-информационное обеспечение для оценки биопродуктивности и углерододепонирующей способности сосновых древостоев и установлен объем фитомассы сосновых насаждений региона на уровне 15 млн т. Ежегодный объем депонированного сосновыми древостоями углерода составляет около 400 тыс. т, или в среднем около $460 \text{ г С} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$.

Осуществлена оценка экологически безопасного энергетического потенциала древесной биомассы лесов исследуемого региона с учетом соблюдения норм загрязнения радионуклидами.

Ключевые слова: биопродуктивность, углерододепонирующая функция, энергия, насаждение, сосна обыкновенная, таксационная характеристика, таблицы, тип леса, ход роста, Чернобыльская зона отчуждения.

ANNOTATION

Slyva O. A. Growth Dynamics and Productivity of Pine Stands of the Chornobyl Exclusion Zone. – The qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Agricultural Sciences in specialty 06.03.02 «Forest Inventory and Forest Mensuration». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to the study of peculiarities of growth, bioproductivity and carbon-sequestering function of Scots pine stands of the Chornobyl Exclusion Zone, which will serve as an information toolbox for effective forest management in contaminated areas and for introduction of mechanisms for low-carbon development in forest management aimed at climate change mitigation.

The solution of the mentioned problems is quite relevant for the studied region. As a result of a complex of negative factors caused by global climate change, forest stands in the Exclusion Zone are characterized by significant vulnerability, accompanied by dieback of trees and accumulation of significant amounts of forest biomass, which can pose significant threats in the event of a large-scale forest fire.

The analysis of the characteristics of Scots pine stands of the studied region, based on information from the relational database «Stand-level biometric characteristics of forests», provided for research by IA «Ukrderzhlisproekt», has shown that Scots pine is the dominant forest species by distribution, with a share of 60.2 % or 85.8 thousand hectares. The Chornobyl Exclusion Zone is dominated by artificially planted Scots pine stands, whose share is 51.9 %.

Within the research of pine stands in the Chornobyl Exclusion Zone, it has been found that in the study region, pine stands grow mainly in fresh infertile and fairly infertile sites, as well as in wet fairly infertile sites and dry infertile sites. In general, almost 68 % of pine stands are concentrated in the region's fairly infertile sites. At the same time, the region is dominated by high-yielding pine stands, the area of which for I and higher site index classes exceeds 55 thousand hectares, or 66.7 %, and the share of medium-stocked pine stands with relative stocking of 0.8 and 0.7 is 35.1 % and 26.8 %, respectively.

To study bioproductivity and carbon-sequestering capacity of pine stands, we used data from 18 temporary sample plots (TSPs) taken from the international database “Biomass plot data base”, which characterizes pine stands of the study region. Moreover, 12 TSPs were established in pine stands of the study region and adjacent areas, including the Chornobyl Exclusion Zone.

Within the thesis, forest typological basis was used as a classification basis for modeling the dynamics of biometric indices of modal pine stands of the Chornobyl Exclusion Zone. For this purpose, five forest types have been identified: dry infertile pine forest type (A_1-C), fresh infertile pine forest type (A_2-C), fresh fairly infertile oak-pine forest type ($B_2-дC$), moist fairly infertile oak-pine forest type ($B_3-дC$), and wet fairly fertile hornbeam-oak-pine forest type ($C_3-г-дC$), which characterize the growth processes in pine stands over more than 95 % of forest areas covered with forest vegetation within the study region.

As a result of dissertation research for modal pine stands of the Chernobyl Exclusion Zone, we propose a system of models of dynamics of the following biometric indices. These mathematical dependences are characterized by high level of approximation of the input data and serve as a basis for the corresponding yield tables on a typological basis.

The thesis also proposes reference and information support for assessing bioproductivity and carbon sequestrative capacity of pine stands. The dynamic tables of bioproductivity on the basis of models of dynamics of biometric indices and the models of conversion ratios of components of live biomass (trunk over bark, crown branches, foliage and roots) have been developed.

In the thesis, in addition to the previously mentioned normative tools, a general assessment of bioproductivity of forests of the Chernobyl Exclusion Zone has been carried out. The total live biomass of pine stands in the region is estimated at 15 million tons of dry organic matter, or an average of about $18 \text{ kg} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$.

While performing the tasks of the research it was also established that the net primary production of pine stands of the Chernobyl Exclusion Zone is about 400 thousand tons of carbon per year. The mean intensity of carbon sequestration capacity of the studied stands is about $460 \text{ g C} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$, which is almost 8 % higher in comparison with the pine stands of Kyiv region. At the same time, the most intensive carbon sequestration occurs in mid-aged stands – $474 \text{ g C} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$. It has been found that the difference between the specific value of net primary production by site index classes 360 %, from $611 \text{ g C} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$ in stands of I^b site index class to $133 \text{ g C} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$ in stands of V^a site index class.

In general, the highest absolute carbon-sequestering capacity is typical for mid-aged pine stands of I site index class, which are quite common in fresh fairly infertile oak-pine sites.

The presented results of evaluation of net primary production and carbon-sequestering function of pine stands of the studied region determine their biospheric potential and serve as a scientific basis for forest management in radiation-contaminated forests of the Exclusion Zone.

The assessment of the total amount of energy accumulated in the above-ground live biomass of pine stands in the Exclusion Zone carried out in the thesis showed that its total content in the components of the above-ground live biomass is about 14 PJ. A special condition for ensuring the use of the energy potential of the forests of the Chernobyl Exclusion Zone on the basis of sustainable development is the absence of exceeding the radionuclide contamination norms. At the same time, only a half of this potential corresponds to the hygienic standard of (137) Cs content. Thus, taking into account the quantitative restrictive criteria of environmentally safe energy potential of wood biomass in the forests of the region, such as the content of (137) Cs at $600 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ and (90) Sr – $60 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, its use can be carried out only in specially equipped boiler houses, which significantly limits the possibility of using about 30 thousand m^3 of wood biomass of pine forests in the region.

Key words: bioproductivity, carbon sequestrative function, stand, energy, Scots pine, biometric characteristics, tables, forest type, growth, Chernobyl Exclusion Zone.

Підписано до друку 19.03.2021 року. Формат 60x84\16
Ум. друк. арк. 0,9 Обл.-вид.арк. 0,9
Наклад 100 прим. Зам. № 210135

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, тел.: 527-81-55, e-mail: nubip_druk@ukr.net
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4097 від 17.06.2011

