

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

ХАНЬ ЄВГЕНІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 630*56:582.632.2

**ДИНАМІКА ТА ПРОГНОЗ РОСТУ ДЕРЕВОСТАНІВ
ДУБА ЗВИЧАЙНОГО ВЕГЕТАТИВНОГО ПОХОДЖЕННЯ
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

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 кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Бала Олександр Петрович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
доцент кафедри таксації лісу
та лісового менеджменту

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор
Пастернак Володимир Петрович,
Український орден «Знак Пошани»
науково-дослідний інститут лісового господарства
та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького,
провідний науковий співробітник
лабораторії моніторингу і сертифікації лісів

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Король Микола Михайлович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний лісотехнічний університет України»,
доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування

Захист відбудеться «03» березня 2021 року о 14⁰⁰ 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 301

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

Автореферат розіслано «02» лютого 2021 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. Г. Лащенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Система ведення лісового господарства, яка базується на засадах раціонального використання ресурсів та врахування комплексу екологічних, економічних та соціальних аспектів, потребує розроблення нормативів щодо об'єктивного оцінювання деревостанів та прогнозу їх росту з використанням математичного моделювання, за якого мають враховуватися біологічні особливості всіх наявних видів деревних рослин. Зазвичай основою при плануванні господарської діяльності є інформація, отримана в результаті базового лісовпорядкування та в подальшому актуалізована за допомогою комплексу математичних моделей, розроблених для основних лісоутворювальних порід на території України.

Зважаючи на це, дисертацію присвячено вивченню та розробленню системи моделювання прогнозу росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України, як складової автоматизованої системи управління «Лісовий фонд України», та розробленню нормативів для оцінювання та актуалізації основних таксаційних показників досліджуваних деревостанів.

Вибір вегетативних дубових деревостанів як об'єкта дослідження зумовлено такими обставинами:

– вегетативні дубові деревостани відіграють важливу роль у природному формуванні екосистем Лісостепу України, зокрема на них припадає 226,8 тис. га або 26,8 % загальної площі, на якій зростає дуб звичайний;

– відсутність повноцінної бази нормативно-довідкової інформації, а саме таблиць ходу росту мішаних модальних дубових деревостанів вегетативного походження, що зростають у Лісостепу України, та математичних моделей, необхідних для актуалізації таксаційних показників таких деревостанів;

– трансформуються підходи щодо ведення лісового господарства у напрямі досягнення балансу економічних, соціальних та екологічних складових.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація безпосередньо пов'язана з науковими дослідженнями, які здійснювала кафедра таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України за темами «Проблеми сталого використання лісових ресурсів в умовах глобальних змін клімату» (номер державної реєстрації 0114U000651); «Розробити методичні підходи виділення і охорони особливо цінних для збереження лісів із застосуванням ГІС-технологій» (номер державної реєстрації 0113U1003705); «Розробити науково-методичне та інформаційне забезпечення для вдосконалення системи актуалізації таксаційних показників деревостанів при безперервному лісовпорядкуванні» (госпдоговірна наукова тема № 40/36); «Розробити наукові основи прогнозу росту основних лісотвірних порід України» (номер державної реєстрації 0117U001255), в межах яких здобувач був виконавцем окремих підрозділів.

Мета та завдання дослідження. Мета дисертації – розроблення системи нормативно-довідкових даних для оцінювання та актуалізації основних

таксаційних показників модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України.

Відповідно до мети дослідження було сформульовано такі завдання:

- побудувати динамічну бонітетну шкалу, яка б урахувала особливості росту модальних дубових вегетативних деревостанів в умовах Лісостепу;
- дослідити особливості динаміки таксаційних показників і скласти таблиці ходу росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України;
- розробити комплекс математичних моделей прогнозу росту основних таксаційних показників дубових деревостанів вегетативного походження регіону досліджень.

Об'єкт дослідження – процеси росту в модальних деревостанах дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України.

Предмет дослідження – закономірності динаміки таксаційних показників модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження та прогнозу їх росту.

Методи дослідження. Основою методики дисертаційного дослідження був системний підхід щодо подальшого вивчення об'єкта дослідження із застосуванням сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення. У процесі виконання дисертаційного дослідження було використано спеціальні методи: лісівничі, таксаційні, біометричні – для збирання польового дослідного матеріалу; математико-статистичні, аналізу, синтезу – для опрацювання й аналізу дослідних даних, розроблення математичних моделей та оцінювання точності результатів дослідження. Натурні дослідження виконано за типовими в лісовій таксації методиками. Оцінювання розроблених математичних моделей виконано за допомогою стандартних методів математичної статистики. Перевірку та порівняння отриманих результатів здійснено аналітичним і графічним способами. Окрім загальновідомих комп'ютерних програмних продуктів, таких як IBM SPSS Statistics і табличний процесор Microsoft Excel, використовували такі аналітичні інструменти, як Microsoft Power BI та Rstudio, а також програмне рішення «ПЕРТА».

Наукова новизна одержаних результатів. На засадах системного підходу з використанням методів математичного моделювання, регресійного аналізу й синтезу одержано нормативи щодо оцінювання та прогнозу росту вегетативних деревостанів дуба звичайного Лісостепу України, які визначають наукову новизну і полягають у такому:

вперше:

- на основі повидільної бази даних встановлено статистично значущу різницю між таксаційними показниками дубових деревостанів вегетативного походження для Лівобережного та Правобережного Лісостепу України;
- побудовано динамічну бонітетну шкалу, яка враховує тип росту модальних дубових деревостанів вегетативного походження;
- розроблено математичні моделі динаміки основних таксаційних показників: середньої висоти, середнього діаметра, видового числа, середнього запасу для дуба звичайного вегетативного походження;

– на основі розроблених моделей складено таблиці ходу росту мішаних модальних дубових деревостанів вегетативного походження за класами бонітету для Лівобережного та Правобережного Лісостепу України;

– розроблено систему математичних моделей прогнозу росту модальних дубових деревостанів вегетативного походження за основними таксаційними показниками;

удосконалено систему інформаційного забезпечення лісотаксаційних даних, яка за порівняння з наявною враховує уточнені математичні моделі динаміки основних таксаційних ознак деревостанів;

отримало подальший розвиток:

– застосування методики, яку запропонував Н. П. Анучин, щодо визначення кількості річних кілець для дерев, що мають пошкоджену прикореневу частину стовбура;

– дослідження лісових екосистем із метою доповнення нормативів прогнозу росту таксаційних показників та актуалізації бази даних основних лісоутворювальних порід.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані в результаті дисертаційного дослідження нормативи можуть у подальшому бути використані під час інвентаризації лісів та актуалізації таксаційних показників за безперервного лісовпорядкування. Оскільки немає таблиць ходу росту для вегетативних деревостанів дуба звичайного для Лівобережного та Правобережного Лісостепу, використовують відповідні таблиці, розроблені для близьких до них із лісівничо-таксаційного та біологічного поглядів, однак це може спричиняти помилки у процесі планування лісогосподарських заходів. Розроблені автором нормативно-довідкові матеріали сприятимуть підвищенню точності проведення таксаційних робіт і можуть використовуватися для прогнозу росту деревостанів, щодо яких не проводили господарські заходи.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у виробничу діяльність Державного підприємства «Полтавське ЛГ» та Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Боярська лісова дослідна станція».

Окремі положення та висновки дисертації використано у навчальному процесі під час викладання дисципліни «Лісова таксація» на кафедрі таксації лісу та лісового менеджменту при підготовці фахівців ОС «Бакалавр» за спеціальністю 205 «Лісове господарство» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналізу літературних джерел, збиранні та камеральному обробленні дослідних даних. Здобувачем закладено 14 тимчасових пробних площ із рубкою 42 модельних дерев. Основна частина сформульованих у дисертації наукових положень, висновків та пропозицій належать особисто автору та є його науковим доробком. Здобувачем опрацьовано теоретичні й методичні підходи щодо моделювання ходу росту деревостанів; розроблено комплекс математичних моделей динаміки основних таксаційних показників для модальних дубових деревостанів Лісостепу України; опрацьовано алгоритм для системи математичних моделей

для прогнозу росту за основними таксаційними показниками для модальних дубових деревостанів Лісостепу України; сформульовано основні наукові положення та обґрунтовано висновки й пропозиції для виробництва.

Апробація результатів дисертації. Основні результати й теоретичні положення дисертації доповідалися та отримали позитивні відгуки на: II Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (м. Київ, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Біоресурси лісових та урбанізованих екосистем: відтворення, збереження і раціональне використання» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Виклики XXI століття та їхнє вирішення у лісовому господарстві» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства» (м. Київ, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів» (м. Київ, 2018 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження відображено у 13 наукових працях, з яких стаття у науковому фаховому виданні України, 6 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття у науковому виданні іншої держави та 5 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, переліку умовних позначень і скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій виробництву, списку використаних джерел (216 найменувань) і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінок. Основна частина дисертації містить 19 таблиць і 52 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1 «**Теоретичні передумови моделювання росту та продуктивності деревостанів**». Сучасна практика моделювання динаміки росту деревостанів передбачає розроблення простих і досить детальних нормативів, найголовнішими з яких упродовж майже двох останніх століть залишаються таблиці ходу росту. Враховуючи кліматичні та інші зміни навколишнього середовища (збільшення концентрації вуглецю в атмосфері), які впливають на закономірності росту і розвитку лісів, використання таблиць, розроблених на основі ретроспективного аналізу росту деревостанів протягом одного-двох попередніх століть, дедалі менше відповідає сучасним вимогам і тим більше не можуть слугувати надійним засобом прогнозів.

Нині основними складовими сучасної системи загальноекономічних та спеціальних принципів забезпечення комплексного використання лісоресурсного потенціалу в умовах ринкових відносин є:

– принцип збалансованості, за якого передбачено рівномірне та взаємоузгоджене використання компонентів лісоресурсного потенціалу в усіх видах діяльності у лісовому комплексі: лісовому та мисливському господарстві,

деревообробній та целюлозо-паперовій промисловості, а також у рекреаційній сфері;

– принцип невиснажливості, який полягає у збереженні біорізноманіття, підвищенні продуктивності й здатності до відновлення складових лісоресурсного потенціалу з метою виконання екологічних, економічних та соціальних функцій лісу;

– принцип раціональності – продуманості, обґрунтованості, розсудливості, перехід до інтенсивного використання лісоресурсного потенціалу (за рахунок безвідходного використання наявних ресурсів);

– принцип багатофункціональності, за якого передбачено інтенсивне залучення максимальної кількості компонентів лісоресурсного потенціалу до господарського обороту з метою найбільш повного розкриття та використання їх функціонального призначення.

Для реалізації кожного із зазначених принципів потрібна актуальна інформація про лісовий фонд на локальному, регіональному, національному та загальносвітовому рівнях та її правильне інтерпретування для прийняття раціональних управлінських рішень.

Основними пріоритетами для лісівничих наук зараз є розроблення та вдосконалення програмного забезпечення для функціонування геоінформаційних систем у лісовому господарстві, дослідження з лісової радіології, моделювання наслідків змін клімату, вирішення практичних завдань лісовпорядкування та лісозахисту. Особливе місце посідають питання, що стосуються прогнозу основних таксаційних показників деревостанів на короткострокові та довгострокові періоди.

Одними з основних нормативів, які використовують для оцінювання стану лісових насаджень і під час проєктування лісогосподарських заходів, є таблиці ходу росту.

Моделюванням росту деревних видів займалися М. В. Давидов (1969, 1976), К. Є. Нікітін (1973, 1978), А. З. Швиденко (1977, 1981, 1983, 1987), В. В. Антанайтіс (1977), В. В. Загреєв (1978), М. М. Свалов (1979), А. А. Строчинський (1992), П. І. Лакида (2002), А. Г. Лащенко (2004), О. П. Бала (2004), В. М. Володимиренко (2006), А. Ю. Терентьєв (2010), А. Е. Оборська (2012), А. М. Білоус (2018), Р. Д. Василишин (2018) та багато інших учених. Основою сучасного моделювання ходу росту деревостанів є математичні моделі, у вигляді формул або системи формул, що відображають біологічний зміст особливостей росту насаджень.

У різні часи особливості росту деревостанів дуба звичайного насінневого та вегетативного походження досліджували багато науковців. Чинна нормативна база для таксації дубових деревостанів України передбачає використання таблиць ходу росту М. В. Давидова (1979).

У 2013 р. кафедра лісової таксації та лісовпорядкування (нині – кафедра таксації лісу та лісового менеджменту) Національного університету біоресурсів і природокористування України підготувала «Лісотаксаційний довідник», який містив уніфікований і виправлений варіант нормативів М. В. Давидова 1979 р. Однак, навіть таке подання таблиць ходу росту М. В. Давидова

не розкриває повною мірою регіональні особливості зростання дуба звичайного вегетативного походження в Лісостепу України, тому є потреба подальшого вивчення особливостей його росту.

Наявність актуальної інформації про лісовий фонд на локальному, регіональному, національному та загальносвітовому рівнях є основою для прийняття раціональних управлінських рішень. Саме тому розроблення таблиць ходу росту для модальних деревостанів, що характеризують сучасний стан лісів, є особливо актуальною.

Розділ 2 «Характеристика об'єкта, дослідного матеріалу та методика дослідження». Однією з головних лісоутворювальних порід на території України є дуб звичайний (*Quercus robur* L.). Його широко використовують для створення полезахисних і протиерозійних насаджень; ліси, де росте дуб, виконують багатогранні екологічні функції і задовольняють виробничі потреби у якісній деревині. Нині частка дібров становить близько 28 % площі лісових ділянок, укритих лісовою рослинністю.

Дуб поновлюється як насінневим шляхом, так і порослю від пня. За даними, наведеними в опрацьованих літературних джерелах, вегетативне поновлення порівняно з насінневим має певні переваги, зокрема: швидкий ріст у перші роки життя, отримання нового покоління без додаткових витрат, можливість вирощування дуба у несприятливих лісорослинних умовах. Вегетативне розмноження є додатковою гарантією збереження виду, тобто у всіх випадках, коли порушується нормальна життєдіяльність дерева (поранення, пошкодження, рубка), він дає поросль зі сплячих бруньок. Оскільки якісне виробництво деревини для шпону та пиломатеріалів і надалі залишається основною метою розведення основних лісоутворювальних порід в Україні, перевагу віддають насінневному поновленню. Серед загальної площі дубових лісів Лісостепу України штучні ліси займають 480,7 тис. га, а природні – 373,0 тис. га. Площа природних деревостанів насінневого походження – 146,2 тис. га, на вегетативні деревостани припадає 226,8 тис. га.

Для статистичного аналізу було використано інформацію з повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроект», що характеризує чисті та мішані деревостани дуба звичайного вегетативного та насінневого походження (станом на 01.01.2011 р.). Загальний обсяг вибірки з бази становив 207869 виділів загальною площею 853,7 тис. га.

Експериментальні дані опрацьовувалися на ПК із використанням пакетів прикладних програм Microsoft Excel, Microsoft Power BI, LibreOffice, RStudio та IBM SPSS Statistics.

Для кращого розуміння особливостей росту дубових деревостанів, які мають різне походження, було здійснено порівняння їхніх таксаційних показників.

У результаті проведених розрахунків з використанням *t*-критерію Стьюдента та *p*-рівня значущості було встановлено, що деревостани дуба звичайного вегетативного походження до V класу віку перевищують за середніми таксаційними ознаками деревостани дуба звичайного насінневого походження, але згодом, через біологічні особливості, ріст у деревостанах

вегетативного походження сповільнюється, тому перестійні деревостани незалежно від походження мають майже однакові середні таксаційні показники.

Окрім того, враховуючи, що розподіл дубових деревостанів насінневого та вегетативного походження відповідно до інформації, зазначеної у повидільній базі даних, не є рівномірним на території Лісостепу України, додатково було застосовано кластерний аналіз для класифікації та групування даних, як за походженням, так і за регіоном місцезростання.

Аналіз основних таксаційних показників дубових деревостанів Лісостепу України дає підстави стверджувати, що за своїми біометричними показниками деревостани насінневого та вегетативного походження відрізняються між собою в будь-якому віковому проміжку.

Основою збирання дослідних даних було закладання тимчасових пробних площ. При цьому активно використовували сучасну комп'ютерну техніку та застосовували сучасні методи наукового пізнання. Пробні площі закладали відповідно до вимог СОУ 02.02-37-479:2006.

Для проведення досліджень було використано дані 56 тимчасових пробних площ, 42 з яких узяті з банку науково-дослідних даних кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України і 14 закладено особисто.

Детальну таксаційну характеристику досліджуваних деревостанів отримано завдяки використанню спеціалізованого програмного забезпечення «ПЕРТА».

У результаті порівняльного аналізу повидільної бази даних і даних тимчасових пробних площ встановлено, що експериментальні дані тимчасових пробних площ із достатньою репрезентативністю описують стан дубових деревостанів за віковою структурою та основними таксаційними показниками. Більшу частину пробних площ становлять деревостани середньої продуктивності.

Розділ 3 «Моделювання росту та продуктивності дубових деревостанів вегетативного походження». Найпоширенішим методом досліджень змін у лісових ценозах є регресійний аналіз. У результаті такого аналізу отримують математичні рівняння, які описують зміну залежної змінної у разі зміни однієї або декількох незалежних змінних. До основних переваг таких моделей можна віднести їх простоту та можливість швидкого оброблення на ПК, а також можливість використовувати інформацію, одержану під час інвентаризації лісів.

Методичні підходи щодо формування таблиць ходу росту модальних деревостанів, які сформулював М. П. Анучин, передбачають використання даних практичного лісовпорядкування, при цьому однією з умов практичності та достовірності отриманих результатів є застосування динамічних бонітетних шкал, які враховують особливості росту лісоутворювальних деревних видів.

Для встановлення закономірностей росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України за висотою проведено аналіз ходу росту товстих дерев у насадженні (ранг за діаметром 75 % і вище) для побудови кривої залежностей верхньої висоти від віку. Такі дерева займають

панівне місце у наметі лісу та зазнають мінімального впливу внутрішньовидової та міжвидової конкуренції, на відміну від дерев середніх розмірів.

Проведений аналіз базувався на даних 53 модельних дерев, зрубаних на тимчасових пробних площах у різних регіонах лісостепової зони України.

Для визначення ходу росту за верхньою висотою модальних дубових деревостанів вегетативного походження спершу визначали відносні висоти насаджень. Абсолютні висоти моделей було переведено у відносні, при цьому за базовий було взято вік у 40 років, оскільки він припадає на середину періоду, в якому закладали пробні площі.

Визначення коефіцієнтів усіх рівнянь та розроблення моделей здійснювали методом нелінійного регресійного аналізу за допомогою прикладного пакета статистичних програм IBM SPSS Statistics і відкритого інтегрованого середовища розроблення для мови R – програмного пакета статистики та візуалізації даних RStudio. Значущість коефіцієнтів оцінювали на 5 % рівні значущості за *t*-критерієм Стьюдента. Адекватність моделей визначали за *F*-критерієм Фішера.

Унаслідок багатоваріантного пошуку адекватних моделей росту за основу було взято рівняння Томазіуса, яке дало змогу отримати задовільні результати моделювання. В результаті дослідження наведених залежностей було отримано моделі, які достовірно відображають закономірності зміни експериментальних даних для деревостанів Правобережного Лісостепу:

$$H_{ep} = 1,876 \cdot \left(1 - e^{-0,02 \cdot A \cdot (1 - e^{-4,162 \cdot A})}\right)^{1,061} \cdot H_{40}^{baz}, \quad (1)$$

і для деревостанів Лівобережного Лісостепу:

$$H_{ep} = 1,925 \cdot \left(1 - e^{-0,014 \cdot A \cdot (1 - e^{-0,03 \cdot A})}\right)^{0,567} \cdot H_{40}^{baz}, \quad (2)$$

де H_{ep} – верхня висота у відносних одиницях; H_{40}^{baz} – середня висота насадження в базовому віці, м; A – вік деревостану.

Оскільки верхня висота має обмежене використання у практичній діяльності лісогосподарських підприємств, проведено моделювання залежності середньої висоти від верхньої, що описується таким рівнянням:

$$H_{cp} = H_{ep} \cdot 0,919 \cdot e^{\frac{0,529}{A}}. \quad (3)$$

Для суміщення динамічної бонітетної шкали зі шкалою професора М. М. Орлова здійснено приведення базового віку відносних висот до 70 років загальнобонітетної шкали, оскільки в дубових деревостанах переважають середньовікові насадження. Для цього за допомогою розроблених моделей (1) і (2) було пораховано відносні висоти для віку 70 років, які становили для Правобережного та Лівобережного Лісостепу України 1,463 та 1,475 відповідно. В результаті підстановки у рівняння (3) отримано залежності для знаходження середньої висоти для деревостанів Правобережного Лісостепу:

$$H_{cp} = 1,463 \cdot \left(1 - e^{-0,02 \cdot A \cdot (1 - e^{-4,162 \cdot A})}\right)^{1,061} \cdot 0,919 \cdot e^{\frac{0,529}{A}} \cdot H_{70}^{baz}, \quad (4)$$

і для деревостанів Лівобережного Лісостепу:

$$H_{cp} = 1,475 \cdot \left(1 - e^{-0,014 \cdot A \cdot (1 - e^{-0,03 \cdot A})}\right)^{0,567} \cdot 0,919 \cdot e^{\frac{0,529}{A}} \cdot H_{70}^{baz}. \quad (5)$$

На рис. 1 наведено хід росту у висоту дуба звичайного вегетативного походження Правобережного Лісостепу України (суцільна лінія) та верхні значення висот I^a, I, II, III і IV класів бонітету за шкалою професора М. М. Орлова (штрихована лінія).

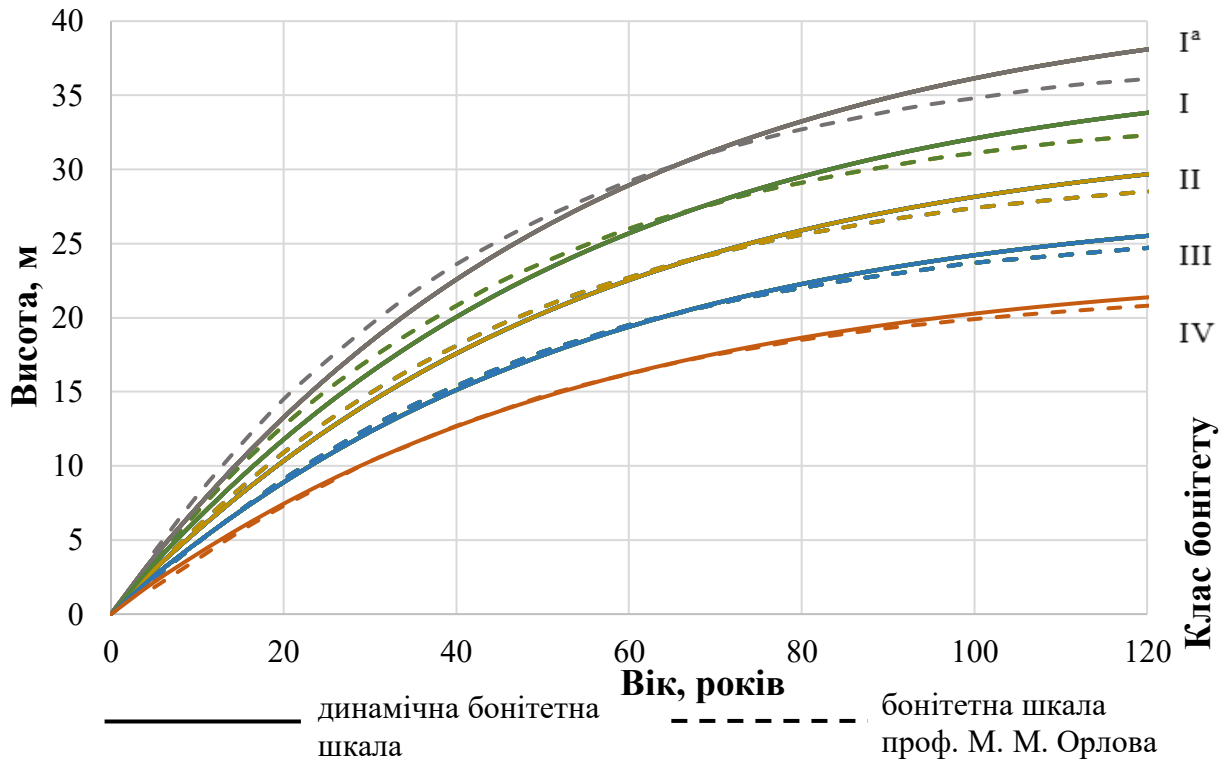


Рис. 1. Порівняння висоти верхніх меж основних класів бонітету для динамічної бонітетної шкали Правобережного Лісостепу України та бонітетної шкали професора М. М. Орлова

Для дубових деревостанів порослевого походження Правобережного Лісостепу України порівняно зі значеннями верхніх меж висот бонітетної шкали професора М. М. Орлова характерний сповільнений ріст у молодому віці та більша інтенсивність у старшому.

На основі моделей (4) і (5) було побудовано динамічні бонітетні шкали для подальшого групування дослідних даних із метою моделювання динаміки таксаційних показників дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України.

Для побудови таблиць ходу росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження використано дані з бази даних ВО «Укрдержліспроект», які було згруповано відповідно до побудованих динамічних бонітетних шкал. У результаті моделювання було отримано математичні моделі середньої висоти за кожним класом бонітету, які описуються рівнянням:

$$H_{cp} = a_0 \cdot \left(1 - e^{-a_1 \cdot A \cdot (1 - e^{-a_2 \cdot A})}\right)^{a_3} \quad (6)$$

Коефіцієнти рівняння (6) окремо для ліво- та правобережної частини Лісостепу для кожного з представлених у базі класів бонітету наведено у табл. 1.

**Коефіцієнти рівняння (6) щодо знаходження середньої висоти
за основними класами бонітету**

Клас бонітету	Коефіцієнт рівняння				R ²	F _{факт}	F _{крит}
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃			
Правобережний Лісостеп							
I	33,045	0,021	68,298	0,954	0,946	16993,5	3,9
II	28,460	0,025	70,198	1,030	0,821	23259,7	3,8
III	26,157	0,022	23,662	1,139	0,919	17582,2	3,8
IV	21,768	0,022	24,338	1,192	0,960	5870,7	3,9
Лівобережний Лісостеп							
I	32,829	0,020	68,300	1,014	0,893	41594,2	3,8
II	29,602	0,021	69,404	1,160	0,804	95867,6	3,8
III	25,508	0,022	23,689	1,140	0,844	40286,2	3,8
IV	21,083	0,024	8,274	1,136	0,887	10376,1	3,8

Наступним етапом було дослідження видового числа стовбурів дерев дуба звичайного вегетативного походження. Для цього використано експериментальні дані тимчасових пробних площ банку науково-дослідних даних кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України, частину тимчасових пробних площ з яких автор заклав особисто. На основі результатів оброблення вихідних даних було отримано таксаційні характеристики кожного з модельних дерев, а для усього масиву даних – основні статистичні показники та коефіцієнти кореляції між об'ємоутворювальними факторами стовбурів.

У результаті пошуку математичних залежностей за основу для моделювання видового числа використано рівняння гіперболічного типу з однією змінною – середнім діаметром.

$$F = 0,4314 + \frac{1,1212}{D}, \quad (7)$$

де F – старе видове число; D – середній діаметр, см.

Наступним підлягав дослідженню середній діаметр. При моделюванні середнього діаметра враховували його тісну залежність від віку та середньої висоти насаджень, було здійснено перевірку гіпотези щодо впливу на нього різних факторів природного та антропогенного характеру.

Оскільки для моделювання як незалежні змінні використовували вік і висоту, то отримані моделі можуть бути придатними для будь-якого класу бонітету, для деревостанів Правобережного Лісостепу:

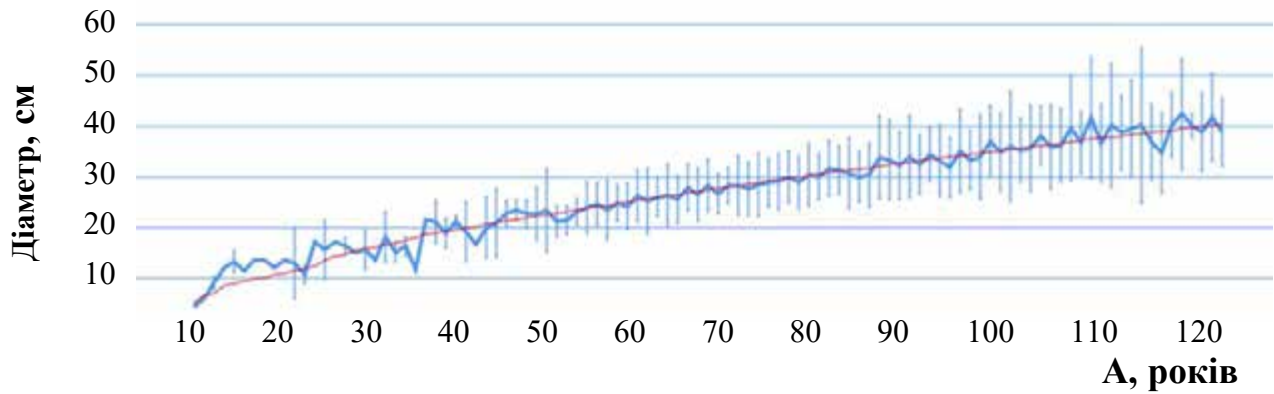
$$D = 1,021 \cdot A^{0,643} \cdot H^{0,182}, \quad (8)$$

і для деревостанів Лівобережного Лісостепу:

$$D = 1,121 \cdot A^{0,725} \cdot H^{0,046}. \quad (9)$$

Для прикладу, динаміку змодельованих і фактичних значень діаметрів для II класу бонітету дубових деревостанів вегетативного походження Правобережного Лісостепу наведено на рис. 2.

Запропоновані моделі дають змогу отримати результати, які лежать у допустимих межах середньоквадратичного відхилення та можуть використовуватися для побудови таблиць ходу росту.



– Змодельовані дані – Середні значення | Середньоквадратичні відхилення ($\pm 0,95$)

Рис. 2. Динаміка значень діаметра для дубових деревостанів вегетативного походження II класу бонітету Правобережного Лісостепу

Одним із основних таксаційних показників, які характеризують продуктивність деревостанів, є їх запас. Запас вирішено розраховувати за першою похідною рівняння Мітчерліха, в результаті моделювання для деревостанів Правобережного Лісостепу отримали таке рівняння:

$$M = 2781,36 \cdot (1 - e^{-0,012 \cdot H})^{1,731} \cdot e^{-0,001 \cdot H}, \quad (10)$$

та для деревостанів Лівобережного Лісостепу:

$$M = 2385,114 \cdot (1 - e^{-0,018 \cdot H})^{2,014} \cdot e^{-0,004 \cdot H}. \quad (11)$$

Для того, щоб визначити співвідношення порід у складі, було здійснено моделювання участі дуба звичайного як головної породи у насадженні. Для цього було використано дані з бази даних ВО «Укрдержліспроект». У результаті аналізу та моделювання було отримано рівняння:

– для Правобережного Лісостепу:

$$K = 8,381 \cdot (1 - e^{-0,1 \cdot A})^{0,416}, \quad (12)$$

– для Лівобережного Лісостепу:

$$K = 8,325 \cdot (1 - e^{-0,014 \cdot A})^{0,529}. \quad (13)$$

де K – частка дуба вегетативного походження у складі деревостану.

Отримані значення коефіцієнтів детермінації R^2 0,525 для Правобережного та 0,708 для Лівобережного Лісостепу вказують на середню точність підбору рівняння регресії.

Для знаходження середньої висоти частини деревостану, що вибирається під час проведення рубок, пов'язаних із веденням лісового господарства, використано редуційні числа, що застосовувалися для моделювання росту штучних мішаних дубових деревостанів Лісостепу України, оскільки при проведенні господарських робіт у дубових деревостанах, зазвичай, застосовують одні й ті ж самі підходи незалежно від походження насадження. Загальна для всіх бонітетів формула для знаходження середньої висоти частини, що вибирається (H^B), має вигляд:

$$H^B = H \cdot -1,776 + 2,485 \cdot A^{0,0156}, \quad (14)$$

Середній діаметр частини, що вибирається (D^B), розраховували так:

$$D^B = D \cdot 0,678 + 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot A^{0,856}. \quad (15)$$

Подальші розрахунки проводили за загальноприйнятими в лісовій таксації формулами.

Усі результати моделювання та розрахунку основних таксаційних показників представлено у вигляді таблиць ходу росту модальних дубових деревостанів вегетативного походження для лівобережної та правобережної частини Лісостепу для основних класів бонітету. Фрагмент зазначених таблиць ходу росту для II класу бонітету наведено в табл. 2.

Розділ 4 «Прогноз росту дубових деревостанів вегетативного походження Лісостепу України». Прогноз росту основних таксаційних показників для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження у дослідженнях базується на розроблених таблицях ходу росту для модальних деревостанів. Математичному обробленню та моделюванню підлягали основні таксаційні параметри: середня висота, середній діаметр, сума площ поперечних перерізів і запас на 1 га. Групування вихідних даних здійснювали на бонітетній основі, з використанням побудованої динамічної бонітетної шкали дуба звичайного вегетативного походження Лівобережного та Правобережного Лісостепу.

За основу моделювання прогнозу росту, як за висотою, так і за іншими таксаційними показниками, було вирішено використати співвідношення значення таксаційного показника рік уперед до того самого показника зараз, узятого із таблиць ходу росту для модальних деревостанів вегетативного походження в розрізі динамічних класів бонітету та територіального розташування (окремо для Лівобережного та Правобережного Лісостепу). Загальний вигляд цього відношення такий:

$$T_{A+1}/T_A,$$

де T – значення таксаційного показника; A – вік деревостану.

Графічну інтерпретацію отриманих співвідношень для середньої висоти наведено на рис. 3.

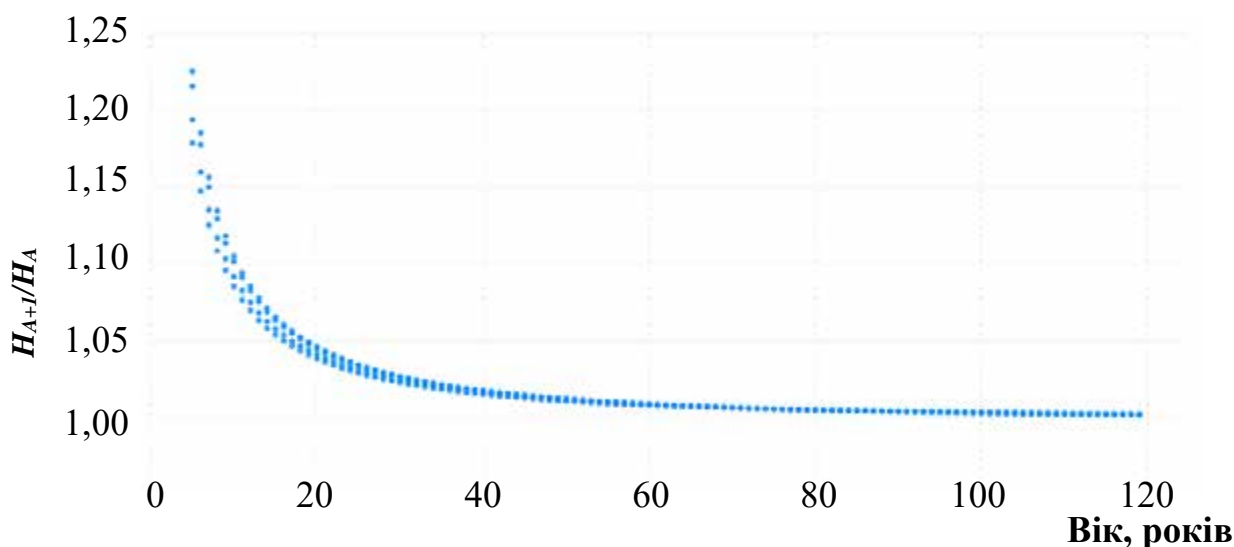


Рис. 3. Динаміка відношення висоти один рік уперед до висоти на теперішній час для деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лівобережного Лісостепу

Таблиця 2

**Фрагмент таблиць ходу росту вегетативних модальних мішаних деревостанів дуба звичайного
Лівобережного Лісостепу України**

Клас бонітету II $H_{70}=22,6$ м

Вік, роки	Деревостан										Частина, що вирубється			Загальна продуктивність, m^3	Загальний приріст, m^3	
	співвідношення порід у запасі, %	середня висота, м	середній діаметр, см	кількість дерев, шт.	сума площ поперечних перерізів, m^2	видове число	запас, m^3	зміна запасу, m^3		середня висота, м	середній діаметр, см	кількість дерев, шт.	запас, m^3		середній	поточний
								середня	поточна							
10	100 Разом			1919	5,8		18,9	1,9	—	—	—	—	—	1,9	—	
	28 Дуб	5,3	6,2	544	1,6	0,612	5,4	0,5	—	4,3	4,3	—	—	0,5	—	
15	100 Разом			1466	8,7		37,6	2,5	3,7			453	5,2	2,8	4,8	
	35 Дуб	7,7	8,7	506	3,0	0,560	13,0	0,9	1,5	6,3	6,1	38	0,4	0,9	1,6	
20	100 Разом			1194	11,2		58,8	2,9	4,2			272	5,9	3,5	5,4	
	39 Дуб	9,8	10,9	472	4,4	0,534	23,2	1,2	2,1	8,1	7,8	35	0,8	1,2	2,2	
25	100 Разом			1009	13,3		81,0	3,2	4,4			186	6,7	4,0	5,8	
	44 Дуб	11,8	13,0	441	5,8	0,518	35,4	1,4	2,4	9,9	9,3	31	1,1	1,5	2,7	
30	100 Разом			867	15,1		103,2	3,4	4,4			142	7,8	4,3	6,0	
	47 Дуб	13,5	14,9	410	7,1	0,507	48,8	1,6	2,7	11,4	10,8	31	1,7	1,8	3,0	
35	100 Разом			754	16,6		124,8	3,6	4,3			112	8,7	4,5	6,0	
	50 Дуб	15,1	16,7	380	8,4	0,498	62,9	1,8	2,8	12,9	12,3	29	2,3	2,0	3,3	
40	100 Разом			664	17,8		145,2	3,6	4,1			90	9,5	4,7	6,0	
	53 Дуб	16,5	18,5	353	9,5	0,492	77,2	1,9	2,9	14,2	13,8	27	2,8	2,2	3,4	
45	100 Разом			590	18,9		164,4	3,7	3,8			74	10,1	4,9	5,9	
	56 Дуб	17,8	20,2	328	10,5	0,487	91,5	2,0	2,9	15,4	15,2	25	3,4	2,3	3,5	
50	100 Разом			528	19,9		182,2	3,6	3,6			62	10,6	4,9	5,7	
	58 Дуб	19,0	21,9	306	11,5	0,483	105,5	2,1	2,8	16,4	16,6	23	3,9	2,4	3,6	

Із даних рис. 3 можемо простежити, що після віку 40 років клас бонітету на досліджуване співвідношення фактично не впливає. Для опису отриманих залежностей вирішено використати дещо модифіковану функцію щільності логнормального розподілу, яку успішно використано в подібних дослідженнях. На основі динаміки відношень середньої висоти деревостану в різні вікові періоди та в результаті математичних спрощень було отримано рівняння актуалізації висоти для Лівобережного Лісостепу:

$$H_{A+n} = H_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(0,998 + 6,828 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 2,664 \cdot (A+n)} \cdot e^{\frac{-(\ln(A+n) - \ln 4,799)^2}{2 \cdot 2,664^2}} \right), \quad (16)$$

та для Правобережного Лісостепу:

$$H_{A+n} = H_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(0,998 + 6,908 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 2,613 \cdot (A+n)} \cdot e^{\frac{-(\ln(A+n) - \ln 4,738)^2}{2 \cdot 2,613^2}} \right). \quad (17)$$

Отримані моделі дають змогу прогнозувати ріст дубових деревостанів вегетативного походження Лісостепу України за середньою висотою, входами до яких є початкова висота, вік і період прогнозу. Враховуючи несуттєву відмінність отриманих співвідношень у розрізі класів бонітету для середньої висоти та середнього діаметра, математичні моделі розділено лише регіонами лісостепової зони.

У результаті розрахунків, проведених у пакеті статистичного аналізу SPSS, було здійснено оцінювання параметрів рівнянь і достовірності моделей. Регресійна модель пояснює більше ніж 90 % варіації залежної змінної, оскільки квадрат множинного коефіцієнта кореляції R^2 для кожного з рівнянь становить значення, близьке до 1 (для Лівобережного Лісостепу – 0,992, для Правобережного Лісостепу – 0,997). Для наших коефіцієнтів фактичні значення t -критерію у випадку Лівобережного Лісостепу такі: $a_0 - 3219$, $a_1 - 13$, $a_2 - 9$, $a_3 - 14$; для Правобережного Лісостепу: $a_0 - 5253$, $a_1 - 22$, $a_2 - 15$, $a_3 - 24$. Як бачимо, вони більші за критичні значення (1,972), тому всі коефіцієнти отриманих моделей є значущими на 5 % рівні.

Для прогнозування співвідношення середнього діаметра один рік уперед до діаметра на теперішній час використано модель того самого типу, що і для висоти, та в результаті пошуку параметрів рівняння було отримано модель прогнозування для насаджень Лівобережного Лісостепу:

$$D_{A+n} = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(1 + 13,998 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 7,349 \cdot (A+n)} \cdot e^{\frac{-(\ln(A+n) - \ln 11,652)^2}{2 \cdot 7,349^2}} \right), \quad (18)$$

для насаджень Правобережного Лісостепу:

$$D_{A+n} = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(1 + 8,861 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 4,318 \cdot (A+n)} \cdot e^{\frac{-(\ln(A+n) - \ln 6,932)^2}{2 \cdot 4,318^2}} \right). \quad (19)$$

Значення суми площ поперечних перерізів для модальних лісостанів необхідне для знаходження актуалізованої відносної повноти та видового числа. За цим показником, як і за середнім діаметром та середньою висотою, динаміка співвідношення має таку саму залежність, як показано на рис. 3. Однак дослідження показали, що за сумою площ поперечних перерізів спостерігається відмінність не лише за територіальною належністю, а й за класами бонітету.

За основу моделювання суми площ поперечних перерізів було використано математичну модель того самого типу, що і для середніх висоти та діаметра:

$$G_{A+n} = G_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(a_0 + a_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot a_3 \cdot (A+n)} \cdot e^{\frac{-(\ln(A+n) - \ln a_2)^2}{2a_3^2}} \right). \quad (20)$$

У результаті моделювання було отримано коефіцієнти рівняння за основними класами бонітету, які наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Значення параметрів моделі (20) прогнозування суми площ поперечних перерізів для дубових деревостанів вегетативного походження Лісостепу України

Клас бонітету	Параметр				$F_{факт}$	$F_{крит}$
	a_0	a_1	a_2	a_3		
Лівобережний Лісостеп						
I	0,999	6,822	2,110	2,187	1226473,1	3,9
II	0,999	7,447	2,128	2,213	1334835,5	3,9
III	0,999	8,446	2,118	2,226	719096,5	3,9
IV	0,999	8,903	2,099	2,282	1206424,8	3,9
Правобережний Лісостеп						
I	0,999	6,652	1,639	2,404	1123921,8	3,9
II	0,999	6,989	1,854	2,262	1607622,7	3,9
III	0,999	7,846	1,557	2,492	1879724,1	3,9
IV	0,999	8,311	1,426	2,599	1425145,9	3,9

Моделювання співвідношення запасів на 1 га відбувалося за методикою і типом математичної моделі, що і для суми площ поперечних перерізів. Отримані коефіцієнти рівняння та їх статистики наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Значення параметрів моделі прогнозування середніх запасів для дубових деревостанів вегетативного походження Лісостепу України

Клас бонітету	Параметр				$F_{факт}$	$F_{крит}$
	a_0	a_1	a_2	a_3		
Лівобережний Лісостеп						
I	0,997	12,786	2,435	2,623	1089671,6	3,9
II	0,997	14,213	2,301	2,631	1802079,9	3,9
III	0,997	16,675	2,053	2,686	1297682,1	3,9
IV	0,996	17,261	2,039	2,626	1013894,4	3,9
Правобережний Лісостеп						
I	0,997	11,848	2,844	2,688	1506098,6	3,9
II	0,997	12,738	2,769	2,474	1364564,5	3,9
III	0,997	14,050	2,556	2,741	1475687,7	3,9
IV	0,997	14,288	2,545	2,792	1139165,7	3,9

Аналізуючи отримані результати за всіма модельованими таксаційними показниками, можна стверджувати про достатньо високий рівень точності математичних моделей. Коефіцієнти детермінації R^2 для Лівобережного та Правобережного Лісостепу дорівнюють 1,000. Адекватність отриманих

рівнянь оцінювали за допомогою F -критерію Фішера, а значущість коефіцієнтів рівняння визначали за допомогою t -критерію Стьюдента, які показали, що ці моделі є прийнятними для моделювання і досить чітко описують дослідні дані, а всі коефіцієнти при незалежних змінних є значущими на 5 % рівні значущості.

Для аналізу отриманих результатів актуалізації таксаційних показників проведемо порівняння точності прогнозу росту за розробленими моделями на основі таблиць ходу росту для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження, а також порівняємо із розробленими раніше моделями прогнозу росту для штучних насінневих дубових деревостанів Лісостепу України. Для цього було використано дані таблиць ходу росту для модальних деревостанів для середньої висоти та запасу на 1 га, починаючи з 5 до 120 років із градацією 1 рік. Практика лісовпорядкування свідчить, що актуалізація таксаційних показників проводиться, в основному, на період не більше ніж 10 років, у деяких випадках цей термін може сягати 15 років. У дослідженнях проведено щорічну актуалізацію на період 10 років для різних вікових періодів.

За основу показника першого року актуалізації застосовано значення, пораховані за даними таблиць ходу росту для модальних деревостанів, і вже в подальших розрахунках використовуватимемо одержане актуалізоване значення. Порівняння проведено у трьох вікових періодах: перший – 20–30 років, другий – 50–60 років і третій – 70–80 років, саме вони характеризують різні вікові етапи росту дубових деревостанів.

Порівняння даних таблиць ходу росту за середньою висотою для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження та результатів прогнозу росту за моделями для деревостанів різного походження вікового проміжку 50–60 років наведено на рис. 4.

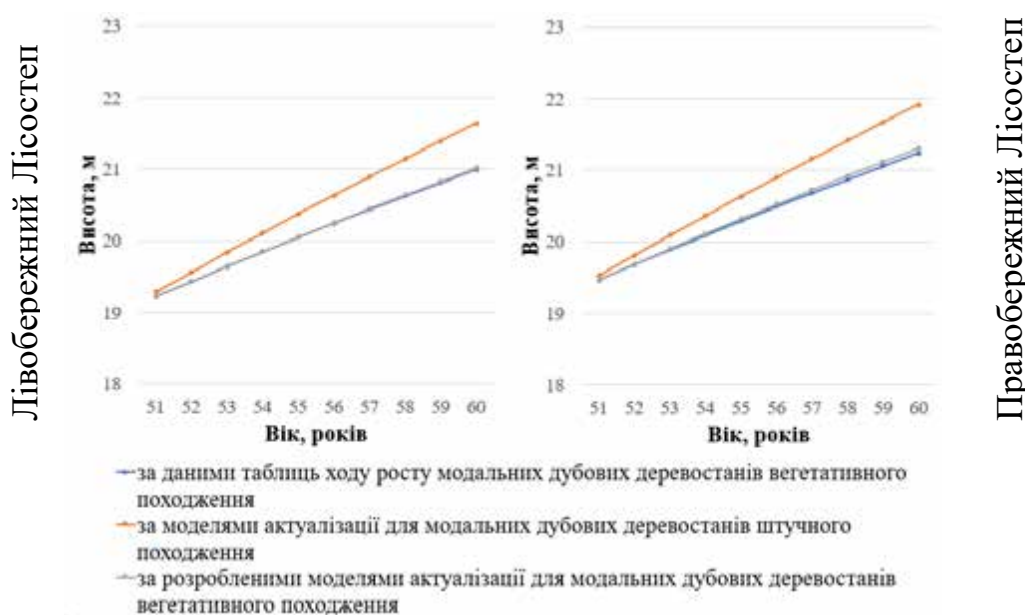


Рис. 4. Порівняння отриманих актуалізованих середніх висот із даними таблиць ходу росту для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження та моделями актуалізації дубових насінневих штучних деревостанів

Із даних, наведених на рис. 4, можна побачити, що при прогнозуванні середньої висоти для деревостанів дуба, що зростають у лівобережній частині лісостепової зони, відхилення від даних таблиць ходу росту майже не відрізняється на всіх вікових проміжках і в абсолютних величинах становить до 0,1 м. Для правобережної частини Лісостепу це відхилення складає до 0,3 м, що також є несуттєвим. Необхідно зауважити розбіжність у зростанні дуба за середньою висотою з деревостанами насінневого походження, зокрема, на всіх вікових проміжках можна побачити переважання прогнозу для насінневих деревостанів, особливо в молодому віці (до 1,4 м).

При прогнозу росту за середнім запасом для ліво- та правобережної частини Лісостепу на вікових проміжках старше ніж 50 років відхилення прогнозованих даних від значень таблиць ходу росту майже не відрізняються. Найбільше відхилення для Правобережного Лісостепу у віці 80 років становить 0,9 м³, або 0,3 %. У віці прогнозу від 20 до 30 років відхилення прогнозованих запасів є більшими та становлять 4,0 м³ для обох частин Лісостепу, або 3,5 %, що є в межах допустимої точності вимірювання запасу. Як і для попередніх даних, для середньої висоти за порівняння з наявними моделями актуалізації насінневих дубових деревостанів спостерігаються відмінності у бік завищення особливо в молодшому віці, де різниця становить близько 14 %. Цей факт підтверджує доцільність окремого розроблення моделей для прогнозу росту за основними таксаційними показниками для дубових деревостанів вегетативного походження. Також тенденція зростання різниці між прогнозованими та модальними значеннями вказує на недоцільність проведення прогнозів на значні періоди (більше ніж 10–15 років).

ВИСНОВКИ

У дисертації з використанням базових принципів системного підходу одержано комплексні результати, які відображають особливості росту вегетативних дубових деревостанів Лісостепу України. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

1. Експериментальний матеріал досліджень представлено повидільною базою даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2011 р., а також даними 56 тимчасових пробних площ, 42 з яких взято з банку науково-дослідних даних кафедри лісової таксації та лісовпорядкування Національного університету біоресурсів і природокористування України і 14 закладено автором особисто.

2. Аналіз повидільної бази даних засвідчив, що на території Лісостепу України дубові деревостани вегетативного походження займають 226,8 тис. га, або 26,8 % загальної площі, на якій зростає дуб звичайний.

3. Детальний аналіз таксаційних показників пробних площ засвідчив, що наявний експериментальний матеріал закладений у найпоширеніших умовах зростання та репрезентативно описує сучасний стан дубових деревостанів вегетативного походження Лісостепу України.

4. За допомогою дисперсійного та кластерного аналізів встановлено різницю між таксаційними показниками дубових деревостанів насінневого

та вегетативного походження, а також певні особливості зростання в лівобережній частині Лісостепу.

5. У результаті дослідження модельних дерев на пробних площах і моделювання ходу росту дуба звичайного за середньою висотою було побудовано динамічні бонітетні шкали для вегетативних дубових деревостанів Правобережного та Лівобережного Лісостепу.

6. На основі повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроєкт» у результаті моделювання отримано математичні моделі росту за основними таксаційними показниками, на базі яких побудовано таблиці ходу росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України.

7. Порівняння динаміки зміни таксаційних характеристик у віці стиглості для основних класів бонітету таблиць ходу росту модальних деревостанів з показниками таблиць ходу росту нормальних насаджень засвідчили загальну подібність зростання дубових деревостанів вегетативного походження.

8. Для моделювання прогнозу росту дубових деревостанів за основними таксаційними показниками використано співвідношення значення таксаційного показника рік уперед до цього самого показника зараз.

9. Базуючись на даних розроблених таблиць ходу росту для модальних дубових деревостанів вегетативного походження отримано математичні моделі прогнозу росту за основними таксаційними показниками, входами до яких є вік деревостану та початкове значення таксаційного показника.

10. Порівняння отриманих результатів прогнозу росту з фактичними даними показало достатню точність математичних моделей та можливість використання їх для системи актуалізації таксаційних показників за безперервного лісовпорядкування.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для практичного застосування у виробничій діяльності лісовпорядкувальних і лісогосподарських підприємств рекомендовано систему нормативів для обліку та прогнозу росту вегетативних дубових деревостанів Лісостепу України:

1. Динамічні бонітетні шкали для модальних вегетативних мішаних деревостанів дуба звичайного Правобережного та Лівобережного Лісостепу України.

2. Таблиці ходу росту для модальних вегетативних мішаних деревостанів дуба звичайного у розрізі різних регіонів лісостепової зони України.

3. Нормативи для актуалізації бази даних «Лісовий фонд України», у вигляді комплексу математичних моделей для прогнозу росту за основними таксаційними показниками деревостану.

Реалізація системи розроблених нормативів сприятиме підвищенню загальної продуктивності деревостанів, раціональному проміжному використанню лісових ресурсів, поліпшенню лісоуправління, контролю, прогнозування в лісокористуванні та відновленні лісових ресурсів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Стаття у науковому фаховому виданні України

1. Хань Є. Ю., Бала О. П. Таксаційна характеристика модальних штучних деревостанів дуба звичайного Полтавської області. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2012. Вип. 171. С. 96–100. *(Здобувачем здійснено аналіз бази даних ВО «Укрдержліспроєкт» та сформульовано висновки).*

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

2. Бала О. П., Хань Є. Ю. Таксаційна характеристика деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2014. Вип. 198. С. 9–13. *(Здобувачем здійснено аналіз бази даних ВО «Укрдержліспроєкт» та сформульовано висновки).*

3. Бала О. П., Хань Є. Ю. Статистичні передумови моделювання росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2015. Вип. 9. С. 22–27. *(Здобувачем здійснено збір, обробку дослідних даних та обґрунтовано доцільність моделювання росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України).*

4. Бала О. П., Хань Є. Ю. Моделювання динаміки середньої висоти модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2016. Вип. 5. С. 19–23. *(Здобувачем здійснено збір, обробку дослідних даних та моделювання динаміки середньої висоти модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України).*

5. Хань Є. Ю., Бала О. П. Експериментальна база даних тимчасових пробних площ деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2016. Вип. 238. С. 65–70. *(Здобувачем здійснено збір, обробку дослідних даних, закладання тимчасових пробних площ та сформульовано висновки).*

6. Сошенський О. М., Свинчук В. А., Хань Є. Ю. Нормативно-довідкові матеріали для таксації дерев і деревостанів липи серцелистої. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2017. Вип. 266. С. 79–91. *(Здобувачем здійснено обробку дослідних даних).*

7. Хань Є. Ю., Бала О. П. Актуалізація таксаційних параметрів дубових деревостанів вегетативного походження Лісостепу України. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2020. Т. 11. Вип. 2. С. 53–65. *(Здобувачем здійснено збір, обробку дослідних даних та моделювання динаміки середньої висоти*

модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України).

Стаття у науковому виданні іншої держави

8. Myroniuk V., Bilous A., **Khan Y.**, Terentiev A., Kravets P., Kovalevskyi S., See L. Tracking Rates of Forest Disturbance and Associated Carbon Loss in Areas of Illegal Amber Mining in Ukraine Using Landsat Time Series. *Remote Sens.* 2020. № 12. P. 22–35. *(Здобувачем здійснено обробку дослідних даних та апробовано метод закладання пробних площ з використанням кругових панорам).*

Тези наукових доповідей

9. Хань Є. Ю. Таксаційна оцінка деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: II Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 16–18 жовтня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 62–63.

10. Хань Є. Ю. Передумови моделювання росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. 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. 66–68.

11. Хань Є. Ю. Сучасний стан та перспективи автоматизації виробничих процесів в лісовому господарстві та деревообробці. Виклики XXI століття та їхнє вирішення у лісовому господарстві: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 7–9 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 51–52.

12. Хань Є. Ю. Особливості росту за висотою дуба звичайного вегетативного походження в молодому віці. Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 14–15 квітня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 72–74.

13. Сошенський О. М., **Хань Є. Ю.** Використання даних дистанційного зондування Землі для оцінки лісових ресурсів. Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6–8 грудня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 124–125. *(Здобувачем згруповано сучасні підходи щодо використання даних дистанційного зондування Землі для оцінки продуктивності дубових деревостанів).*

АНОТАЦІЯ

Хань Є. Ю. Динаміка та прогноз росту деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. – 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 росту деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Правобережного та Лівобережного Лісостепу України та актуалізації біометричних показників, що характеризують їх продуктивність і прогноз росту.

Актуальність роботи полягає в тому, що дубові деревостани вегетативного походження відіграють важливу роль у природному формуванні екосистем Лісостепу України, на них припадає значна площа (близько 26 % загальної площі всіх дубових деревостанів), тому важливим є питання розроблення моделей актуалізації таксаційних показників таких насаджень.

Для експериментальних досліджень було використано інформацію з повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроект», що характеризує чисті та мішані деревостани дуба звичайного вегетативного та насінневого походження (станом на 01.01.2011 р.), та дані, отримані в результаті закладання тимчасових пробних площ. Запропоновано математичні моделі динаміки таких таксаційних показників, як середня висота, середній діаметр, видове число та запас на 1 га для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. Отримані математичні залежності було в подальшому використано для розроблення таблиць ходу росту модальних дубових деревостанів вегетативного походження.

Для дослідження прогнозу росту математичному обробленню та моделюванню підлягали основні таксаційні показники: середня висота, середній діаметр, сума площ поперечних перерізів і запас на 1 га. Основні параметри математичних моделей для прогнозу таксаційних показників встановлювали за допомогою використання функції нелінійної регресії статистичного пакета прикладних програм IBM SPSS Statistics. Порівняння отриманих результатів проводили із застосуванням графічного та аналітичного методів. Унаслідок моделювання отримано рівняння, які з достатньою точністю описують досліджувані співвідношення та прогнозують ріст за основними таксаційними показниками на різних вікових проміжках.

Для застосування в лісовпорядкувальних і лісогосподарських підприємствах запропоновано динамічні бонітетні шкали, модальні таблиці ходу росту та нормативи для актуалізації бази даних «Лісовий фонд України» для модальних вегетативних мішаних деревостанів дуба звичайного лісостепової зони України.

Ключові слова: модальні деревостани, дуб звичайний, таксаційні показники, походження деревостанів, прогноз росту, актуалізація, вегетативне походження, таблиці ходу росту, математичне моделювання.

АННОТАЦІЯ

Хань Е. Ю. Динамика и прогноз роста вегетативных древостоев дуба обыкновенного Лесостепи Украины. – 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 роста древостоев дуба обыкновенного вегетативного происхождения Правобережной и Левобережной Лесостепи Украины, а также актуализации биометрических показателей, характеризующих их продуктивность и прогноз роста.

Актуальность работы заключается в том, что дубовые древостои вегетативного происхождения играют важную роль в естественном формировании экосистем лесостепи Украины, также они занимают значительную площадь (около 26 % общей площади всех дубовых древостоев). Поэтому важным является вопрос разработки моделей актуализации таксационных показателей таких насаждений, ведь для них отсутствует полноценная база нормативно-справочной информации, а именно таблицы хода роста смешанных модальных дубовых древостоев вегетативного происхождения, которые произрастают в Лесостепи Украины, а также математические модели актуализации таксационных показателей таких древостоев.

Для экспериментальных исследований была использована информация повидельной базы данных ПО «Укргослеспроект», характеризующая чистые и смешанные древостои дуба обыкновенного вегетативного и семенного происхождения (по состоянию на 01.01.2011 г.). Также в качестве опытных данных для математического моделирования были использованы результаты обработки материалов, полученных на временных пробных площадях, которые репрезентативно отражали основные таксационные показатели и типичные условия роста дубовых древостоев вегетативного происхождения. Экспериментальные данные представлены 56 временными пробными площадями, 42 из которых взяты из банка научно-исследовательских данных кафедры таксации леса и лесного менеджмента Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, и 14 заложено соискателем.

Предложены математические модели динамики таких таксационных показателей, как средняя высота, средний диаметр, видовое число и запас на 1 га для модальных древостоев дуба обыкновенного вегетативного происхождения Лесостепи Украины. Полученные математические зависимости были в дальнейшем использованы для разработки таблиц хода роста модальных дубовых древостоев вегетативного происхождения.

Для установления закономерностей роста по средней высоте и построения динамической бонитетной шкалы для модальных древостоев дуба обыкновенного вегетативного происхождения Лесостепи Украины был проведен анализ хода роста 53 модельных деревьев, срубленных на временных пробных площадях. Полученные динамические бонитетные шкалы в дальнейшем были использованы для группирования экспериментальных данных базы данных ПО «Укргослеспроект» с целью моделирования динамики основных таксационных показателей и построения таблиц хода роста для дуба обыкновенного вегетативного происхождения Лесостепи Украины.

Методом графического сравнения существующих таблиц хода роста для модальных и полных древостоев получены результаты, подтверждающие пригодность использования разработанных таблиц хода роста для модальных дубовых древостоев вегетативного происхождения Левобережной и Правобережной Лесостепи.

Моделирование динамики таксационных показателей модальных древостоев дуба обыкновенного вегетативного происхождения проведено с использованием ростовых функций Томазиуса, Митчерлиха и ее первой производной, а также аллометрических и экспоненциальных зависимостей, которые с достаточной точностью описывают особенности ростовых процессов в исследуемых древостоях.

Для исследования прогноза роста математической обработке и моделированию подлежали основные таксационные показатели: средняя высота, средний диаметр, сумма площадей поперечных сечений и запас на 1 га. В качестве основы моделирования прогноза роста по всем таксационным показателям использовано соотношение значения таксационных показателей на год вперед к тому же показателю сейчас, взятому из таблиц хода роста для модальных древостоев вегетативного происхождения в разрезе динамических классов бонитета и территориального расположения. Для описания полученных соотношений по всем исследуемым таксационным показателям использовано несколько модифицированную функцию плотности логнормального распределения. Основные параметры математических моделей для прогноза таксационных показателей устанавливались посредством использования функции нелинейной регрессии статистического пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics. Сравнение полученных результатов проводилось с применением графического и аналитического методов. В результате моделирования получены уравнения, которые с достаточной точностью описывают исследуемые соотношения и прогнозируют рост по основным таксационным показателям на разных возрастных диапазонах.

Для применения при лесоустройстве и в практике лесохозяйственных предприятий предложено динамические бонитетные шкалы, модальные таблицы хода роста и нормативы для актуализации базы данных «Лесной фонд Украины» для модальных вегетативных смешанных древостоев дуба обыкновенного Лесостепи Украины.

Ключевые слова: модальные древостои, дуб обыкновенный, таксационные показатели, происхождение древостоев, прогноз роста, актуализация, вегетативное происхождение, таблицы хода роста, математическое моделирование.

ANNOTATION

Khan Ye. Yu. Dynamics and Forecast of Growth of Common Oak Coppice Stands in Ukrainian Forest-Steppe. – The Manuscript.

Dissertation for competition of a scientific degree of candidate of agricultural sciences, specialty 06.03.02 «Forest Inventory and Forest Mensuration». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to studying growth of common oak stands of vegetative origin in Right Bank and Left Bank Forest-Steppe of Ukraine, and actualizing biometric indicators that characterize their productivity and forecast growth.

The relevance of the research is linked with the important role that oak stands of vegetative origin play in the natural formation of Forest-Steppe ecosystems of Ukraine. These stands have a significant area (about 26 % of the total area of all oak stands in the research region). Therefore, questions of the development of models for updating biometric indices of such stands are of high importance.

For experimental research, information from the stand level database of IA «Ukrderzhlisproekt» was used, which characterizes pure and mixed common oak stands of vegetative and seed origin (as of 01.01.2011). Also, as experimental data for mathematical modelling, the results of processing materials obtained on temporary sample plots were used, which representatively reflect the main biometric indices and the most typical growth conditions of coppice oak stands. As a result of the research, mathematical models of dynamics of such biometric indices as average height, average diameter, form factor and stock per 1 ha for modal usual oak stands of vegetative origin in Forest-Steppe of Ukraine are proposed. The obtained mathematical dependences are characterized by a sufficient level of accuracy in the description of the initial data and are used to develop appropriate yield tables.

To study the growth forecast, the main biometric indices, such as average height, average diameter, stand basal area and growing stock per 1 ha, were subject to mathematical processing and modelling. The main parameters of mathematical models for the forecast of biometric indices were set using the nonlinear regression function of the statistical software package IBM SPSS Statistics. The obtained results were compared using the graphic-analytical method. As a result of modelling, equations have been obtained, which with sufficient accuracy describe the studied ratios and predict growth by the main biometric indices at different age intervals.

As a result of the dissertation research, the following tools are proposed for use in forestry and forest management planning enterprises – dynamic site index scales, yield tables for modal stands and mathematical models for actualizing the database «Forest Fund of Ukraine» for coppice mixed common oak stands in Forest-Steppe zone of Ukraine.

Key words: modal stands, common oak, biometric indices, origin of stands, growth forecast, actualization, vegetative origin (coppice), yield tables, mathematical modeling.

Підписано до друку 01.02.2021 року. Формат 60x84\16
Ум. друк. арк. 0,9 Обл.-вид.арк. 0,9
Наклад 100 прим. Зам. № 210030

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

