

АКТУАЛІЗАЦІЯ ТАКСАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДУБОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ВЕГЕТАТИВНОГО ПОХОДЖЕННЯ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Є. Ю. ХАНЬ, здобувач,

e-mail: khan@nubip.edu.ua

О. П. БАЛА, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6538-8876>, e-mail: bala@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Ведення лісового господарства на засадах сталого розвитку, а саме на дотриманні балансу екологічних, економічних та соціальних вимог потребує постійного оновлення та розроблення інструментів об'єктивної оцінки стану та прогнозування змін щодо всіх елементів лісового біогеоценозу. На сьогодні питання прогнозу росту є досить важливими при проведенні актуалізації баз даних під час ведення безперервного лісовпорядкування. Дубові деревастанів вегетативного походження відіграють важливу роль у природному формуванні екосистем Лісостепу України, на них припадає значна частка (близько 26 % загальної площі всіх дубових деревостанів), тому важливим стає питання розроблення моделей актуалізації таксаційних показників таких насаджень. Метою цієї роботи є розроблення на основі таблиць ходу росту для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження моделей прогнозу росту за основними таксаційними показниками, а саме: середньою висотою, середнім діаметром, сумою площ поперечних перерізів на 1 га та запасом на 1 га. За основу моделювання прогнозу росту за всіма таксаційними показниками використано співвідношення значення таксаційного показника рік вперед до того самого показника зараз, узятого із таблиць ходу росту для модальних деревостанів вегетативного походження у розрізі динамічних класів бонітету та територіального розташування. Для опису отриманих залежностей використано дещо модифіковану функцію щільності логнормального розподілу. Основні параметри математичних моделей для прогнозу таксаційних показників встановлювали за допомогою використання функції нелінійної регресії статистичного пакета прикладних програм IBM SPSS Statistics. Для порівняння отриманих результатів і для аналізу отриманих даних застосовували графічний та аналітичний методи. В результаті досліджень отримано коефіцієнти рівняння, які з достатньою точністю описують досліджувані співвідношення та прогнозують ріст за основними таксаційними показниками на різних вікових проміжках. При прогнозуванні таксаційних показників за допомогою розроблених математичних моделей відхилення від таблиць ходу росту модальних мішаних деревостанів дуба

звичайного Лісостепу України майже не відрізняються на всіх вікових проміжках та у відносних величинах становлять менше ніж 1 %, але при прогнозуванні середнього запасу у молодому віці можуть наближатися до 4 %. Бажано, щоб період прогнозування не перевищував 10–15 років.

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

Актуальність. Методичні підходи щодо формування таблиць ходу росту модальних деревостанів, сформульовані М. П. Анучиним, передбачають використання даних лісовпорядкування, при цьому однією з умов практичності та достовірності отриманих результатів є застосування динамічних бонітетних шкал, які враховують особливості росту основних лісотвірних деревних видів (Anuchin, 1982; Nikitin, & Shvidenko, 1978). Точність і якість проведення лісовпорядних робіт, переважно, залежить від наявності достатньої кількості достовірної інформації про стан та зміни у лісовому фонді. Перехід України на засади безперервного лісовпорядкування потребує розроблення ефективних систем обробки інформації з можливістю її оперативної актуалізації (Hirs, Novak, & Kashpor, 2004). Від 1990 р. лісове господарство України перейшло на безперервну систему лісоінвентаризації та господарювання. Ця система господарювання потребує потужної інформаційної та технічної підтримки. З цією метою виробниче об'єднання «Укрдержліспроєкт» створило автоматизовану інформаційну систему «Управління лісовими ресурсами» (УЛР), яку почали розробляти ще в 1979 р. Безперервне (щорічне) лісовпорядкування, як один із методів упорядкування лісового фонду країни, на

відміну від базового, має цілу низку переваг, які насамперед дають можливість отримати найбільш повну та достовірну інформацію про сучасний стан лісового фонду. Поглиблене вивчення закономірностей росту модальних лісостанів має особливе значення при проведенні безперервного лісовпорядкування, оскільки враховує не лише сучасний стан насаджень, а і їх зміну в динаміці. Найповніше такі дані можна отримати із нормативів таблиць ходу росту для модальних деревостанів, що дають змогу відобразити особливості динаміки та процесів росту у характерних лісостанах, а також оцінити результати ведення господарства, аналізуючи їхній реальний стан. Таблиці ходу росту (ТХР) для модальних деревостанів слугують вихідним матеріалом для розроблення математичних моделей прогнозу росту лісостанів за основними таксаційними показниками.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для дуба звичайного вегетативного походження в Україні єдиними чинними нормативами є загальні таблиці ходу росту нормальних деревостанів і таблиці динаміки товарності М. В. Давидова (Shvidenko, Storchinskiy, Savich, & Kashpor, 1987). Вивченням питань росту дуба звичайного Лівобережного Лісостепу займалися також науковці Українського науково-дослідного інституту лісово-

го господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького (УкрНДІЛГА) В. П. Ткач, Р. В. Головач та М. М. Ведмідь, в результаті чого було розроблено таблиці ходу росту нормальних дубняків вегетативного походження на бонітетній основі для вказаного регіону дослідження (Tkach, Golovach, & Vedmid, 2013). Дослідженням продуктивності модальних деревостанів різних деревних видів на теренах колишнього Радянського Союзу присвячено велику кількість публікацій (Bala, & Terentiev, 2011; Bala, 2019; Kozlovskyy, & Pavlov, 1967; Kobets, 2015; Lakyda, & Bala, 2012; Moiseev, Moshkaliov, & Nakhbatshev, 1968; Saban, 1977; Shvidenko, Shchepashchenko, Nilson, & Bului, 2003; Yuditskii, 1982).

На сьогодні методика розроблення моделей актуалізації більшості таксаційних параметрів, що використовується при лісовпорядкуванні, базується на моделюванні відсотка поточного приросту за висотою та подальшого розрахунку інших показників через змодельовані базові та нормативні дані (Strochinskiy, 1992). При розробці моделей для актуалізації середньої висоти використовували моделювання не абсолютної величини цього показника, а відсотка поточного приросту за висотою, при цьому застосовували прості степеневі функції (Strochinskiy, 1999). Враховуючи більшу мінливість середнього діаметра, порівняно з висотою, та значний вплив на нього інтенсивності проведення рубок, а також тісний кореляційний зв'язок між діаметром і висотою при актуалізації середнього діаметра, використовували співвідношення діаметра до висоти (D/H) у трьох виглядах: у базовому віці, нормативне у базовому віці та

нормативне актуалізоване. Нормативні значення співвідношення D/H визначали за моделями, наведеними в роботі (Strochinskiy, Shvidenko, & Lakida, 1992). Останнім часом дослідження прогнозу росту в Україні набуло іншого спрямування та базується на розроблених динамічних бонітетних шкалах і таблицях ходу росту для модальних насаджень. У цьому методі для математичного моделювання використовують основні таксаційні показники: середня висота, середній діаметр, сума площ поперечних перерізів або видове число і запас на 1 га. За основу моделювання прогнозу росту за всіма таксаційними показниками використано співвідношення значення таксаційного показника рік уперед до того самого показника зараз (Lakyda, & Bala, 2012; Lakyda, Terentiev, & Vasylyshyn, 2012; Lakyda, & Aleksiiuk, 2017; Lakyda, & Atamanchuk, 2014; Lakyda, & Volodymyrenko, 2008; Lakyda, Oborska, Blyshchyk, & Smolin, 2020).

Мета дослідження: здійснити моделювання прогнозу росту деревостанів дуба звичайного вегетативного походження за основними таксаційними показниками для Лівобережного та Правобережного Лісостепу України.

Матеріали і методика дослідження. Прогнозування росту основних таксаційних показників для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження у наших дослідженнях базується на розробленій динамічній бонітетній шкалі й таблицях ходу росту для модальних деревостанів, що були розроблені раніше (Bala, & Khan, 2016). Математичному обробленню та моделюванню підлягали основні таксаційні параметри, такі як середня висота, середній діаметр, сума площ поперечних перерізів

і запас на 1 га. Групування вихідних даних здійснювалося на бонітетній основі, з використанням побудованої динамічної бонітетної шкали, відповідно до типу росту дуба звичайного вегетативного походження Лівобережного та Правобережного Лісостепу (Bala, & Khan, 2016).

За основу моделювання прогнозу росту, як за висотою, так і за іншими таксаційними показниками, було вирішено взяти співвідношення значення таксаційного показника рік уперед до того самого показника зараз, узятого із таблиць ходу росту для модальних де-

ревостанів 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 (Lakyda, & Bala, 2012). Для опису отриманих залежностей вирішено використати дещо модифіковану функцію щільності логнормального розподілу, яку успішно застосовано в подібних дослідженнях (Lakyda, Terentiev, & Vasylyshyn, 2012):

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

Основні параметри математичних моделей для прогнозу таксаційних показників встановлювали за допомогою використання функції нелінійної регресії статистичного пакета прикладних програм IBM SPSS Statistics. Також для порівняння теоретичних і емпіричних даних та для подальшого аналізу отриманих результатів застосовували графічний та аналітичний методи (Abramowitz, Milton, Stegun, & Irene 1965; Handbook of forest mensuration, 2013; Kiviste, 1988; Shmoilova, Mynashkyn, Sadovnikova, & Shuvalova, 2005; Svalov, 1979). Адекватність отриманих рівнянь оцінювали за допомогою F -критерію Фішера та коефіцієнта детермінації R^2 , а значущість коефіцієнтів рівняння визначали за допомогою t -критерію Стюдента. Також здійснено порівняння характеристики отриманих нормативів прогнозу росту деревостанів за основними таксаційними показниками з модальними показниками розроблених ТХР

без їх актуалізації та моделями актуалізації росту дубових деревостанів насіннєвого походження Лісостепу України (Lakyda, & Bala 2012).

Результати дослідження та їх обговорення. Середня висота як таксаційний показник характеризується незначним варіюванням порівняно з середнім діаметром, абсолютною або відносною повнотами чи запасом. З іншого боку, для визначення класу продуктивності (класу бонітету) враховують походження, вік і середню висоту деревостану, завдяки чому можна прогнозувати не лише ріст дубових деревостанів за висотою, а і їхню продуктивність. Оскільки середня висота деревостану має тісний кореляційний зв'язок із більшістю таксаційних показників, її використовують як основу для прогнозування таксаційних показників на заданий період. Розрахувавши співвідношення значення середньої висоти рік уперед до того самого показника зараз, узятого із таблиць ходу росту для мо-

дальних деревостанів вегетативно-го походження в розрізі динамічних класів бонітету та територіального розташування, ми виявили певну залежність від віку деревостану, графічну інтерпретацію якої наведено на рисунках 1 і 2.

Оскільки на ріст дуба звичайного вегетативного походження мають значний вплив ґрунтово-кліматичні

умови, важливо порівняти отримані співвідношення показників для Лівобережного та Правобережного Лісостепу України.

Із даних рисунків можемо простежити, що в молодому віці (до 20 років) насадження дуба, які зростають на Лівобережжі, мають більшу дисперсію за класами бонітету. Після віку 40 років для обох частин

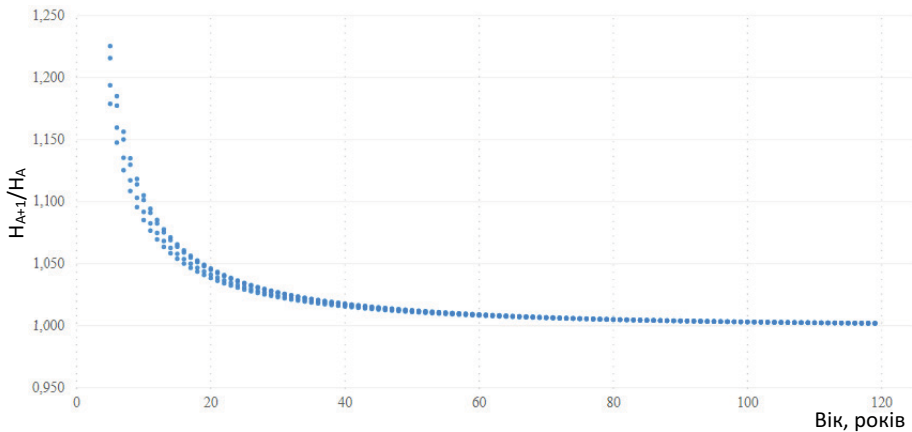


Рис. 1. Динаміка співвідношення висоти 1 рік уперед до висоти на теперішній час для деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лівобережного Лісостепу

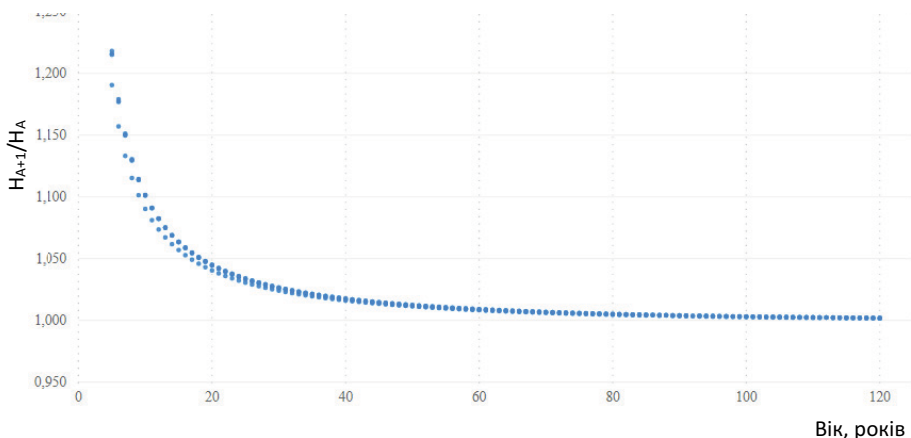


Рис. 2. Динаміка співвідношення висоти 1 рік уперед до висоти на теперішній час для деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Правобережного Лісостепу

лісостепової зони клас бонітету на досліджуване співвідношення фактично не впливає. На основі динаміки співвідношень середньої висоти

деревостану в різні вікові періоди та в результаті математичних спрощень було отримано рівняння актуалізації висоти для Лівобережного Лісостепу:

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

та для Правобережного Лісостепу:

$$H_{A+n} = H_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(0,998 + 6,908 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 2,613 \cdot (A+n)} \cdot e^{-\frac{(\ln(A+n) - \ln 4,738)^2}{2 \cdot 2,613^2}} \right), \quad (3)$$

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

У результаті розрахунків, проведених у пакеті статистичного аналізу IBM SPSS Statistics, було здійснено оцінку параметрів рівнянь та 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 та для Правобережного

Лісостепу – 0,997). Отримане значення t -критерію порівнюють із критичними значеннями за допомогою таблиці, входами якої є кількість ступенів свободи та рівень значущості. Для рівня значущості $p=0,05$ та 787 ступенів свободи критичне значення t -критерію становить 1,96. Для отриманих 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, всі вони більші за критичні значення, тому всі коефіцієнти отриманих моделей є значущими на 5-відсотковому рівні.

Для прогнозу співвідношення середнього діаметра 1 рік уперед до діаметра на теперішній час отримано модель прогнозу для насаджень Лівобережного Лісостепу:

$$D_{A+n} = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(1 + 13,998 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 7,349 \cdot (A+n)} \cdot e^{-\frac{(\ln(A+n) - \ln 11,652)^2}{2 \cdot 7,349^2}} \right), \quad (4)$$

для насаджень Правобережного Лісостепу:

$$D_{A+n} = D_A \cdot \prod_{i=1}^n \left(1 + 8,861 \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 4,318 \cdot (A+n)} \cdot e^{-\frac{(\ln(A+n) - \ln 6,932)^2}{2 \cdot 4,318^2}} \right). \quad (5)$$

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. 2. Однак дослідження показали, що за сумою площ поперечних пере-

різів спостерігається відмінність не лише за територіальною належністю, а й за класами бонітету. На рис. 3 для порівняння наведено зміну співвідношення суми площ поперечних перерізів у розрізі класів бонітету.

Із даних рис. 3 можна помітити, що чим вище клас бонітету, тим значення відношення для одного й того самого віку менші, при цьому така залежність спостерігається на всьому віковому проміжку. В результаті моделювання були отримані коефіцієнти рівняння за основними класами бонітету, які наведено в табл. 1.

Моделювання співвідношення запасів на 1 га відбувалося за тією самою методикою й типом математичної моделі, що і для суми площ поперечних перерізів. Отримані коефіцієнти рівняння наведено в табл. 2.

Аналізуючи отримані результати за всіма змодельованими таксаційними показниками, можна стверджувати про досить 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, фактично порашовані величини $F_{факт}$, що зазначені в таблицях 1 і 2, значно перевищують критичне значення $F_{крит}$, яке для досліджуваної кількості спостережень становить 1,257. Це свідчить про досить високу точність отриманих моделей згідно із вихідними даними. Значущість коефіцієнтів рівняння визначали за допомогою t -критерію Стюдента, відповідно ці моделі є прийнятними для моделювання і досить чітко описують дослідні дані, а всі коефіцієнти при незалежних змінних є значущими на 5-відсотковому рівні значущості.

Для аналізу отриманих результатів актуалізації таксаційних показників проведемо порівняння точності прогнозування 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 насадкових дубових деревостанів Лісостепу України (Lakyda, & Bala, 2012). Для цього було використано дані таблиць ходу росту для модальних деревостанів

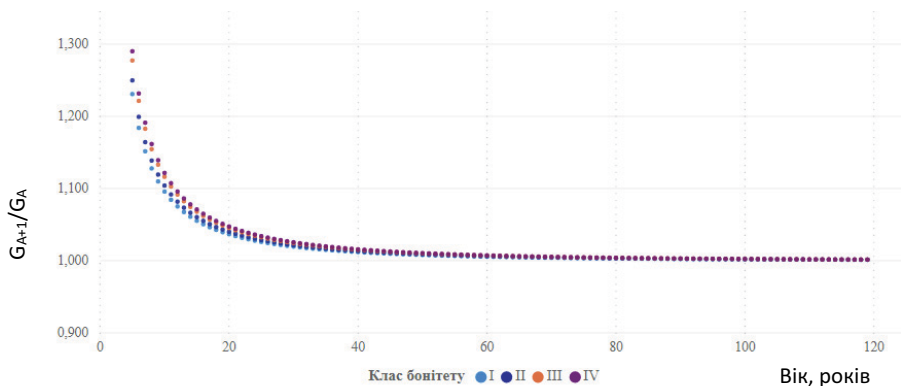


Рис. 3. Динаміка співвідношення суми площ поперечних перерізів на 1 га один рік уперед до того самого показника на теперішній час для дубових деревостанів Лівобережного Лісостепу у розрізі класів бонітету

1. Значення параметрів моделі прогнозу суми площ поперечних перерізів для дубових насаджень вегетативного походження Лісостепу України

Клас бонітету	Параметри				$F_{\text{факт}}$
	a_0	a_1	a_2	a_3	
Лівобережний Лісостеп					
I	0,999	6,822	2,110	2,187	1 226 473,144
II	0,999	7,447	2,128	2,213	1 334 835,456
III	0,999	8,446	2,118	2,226	719 096,5198
IV	0,999	8,903	2,099	2,282	1 206 424,796
Правобережний Лісостеп					
I	0,999	6,652	1,639	2,404	1 123 921,821
II	0,999	6,989	1,854	2,262	1 607 622,735
III	0,999	7,846	1,557	2,492	1 879 724,141
IV	0,999	8,311	1,426	2,599	1 425 145,903

2. Значення параметрів моделі прогнозу середніх запасів для дубових насаджень вегетативного походження Лісостепу України

Клас бонітету	Параметри				$F_{\text{факт}}$
	a_0	a_1	a_2	a_3	
Лівобережний Лісостеп					
I	0,997	12,786	2,435	2,623	1 089 671,613
II	0,997	14,213	2,301	2,631	1 802 079,902
III	0,997	16,675	2,053	2,686	1 297 682,131
IV	0,996	17,261	2,039	2,626	1 013 894,370
Правобережний Лісостеп					
I	0,997	11,848	2,844	2,688	1 506 098,602
II	0,997	12,738	2,769	2,474	1 364 564,502
III	0,997	14,050	2,556	2,741	1 475 687,751
IV	0,997	14,288	2,545	2,792	1 139 165,704

для середньої висоти та запасу на 1 га, починаючи з 5 до 120 років із градацією 1 рік. Наявна практика лісовпорядкування свідчить, що актуалізацію таксаційних показників проводять, переважно, на період не більше ніж 10 років, у деяких випадках цей термін може сягати 15 років. У своїх дослідженнях ми проводитимемо щорічну актуалізацію на період 10

років, але для різних вікових періодів (Lakyda, & Atamanchuk, 2014; Lakyda, Terentiev, & Vasylyshyn, 2012).

За основу показника першого року актуалізації застосовано значення, пораховані за даними ТХР для модальних деревостанів, і вже в подальших розрахунках будемо використовувати одержані актуалізовані значення. Порівняння проведено у

трьох вікових періодах: перший – 20–30 років, другий – 50–60 років і третій – 70–80 років. Хоча такі періоди під час дослідження було вибрано довільно, але саме вони характеризують різні вікові етапи росту дубових деревостанів. Подальші порівняння було здійснено для II класу бонітету, оскільки він є найпоширенішим.

Порівняння даних таблиць ходу росту за середньою висотою для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження та результатів прогнозу росту за моделями для насаджень різного походження для зазначених вікових проміжків наведено на рис. 4.

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

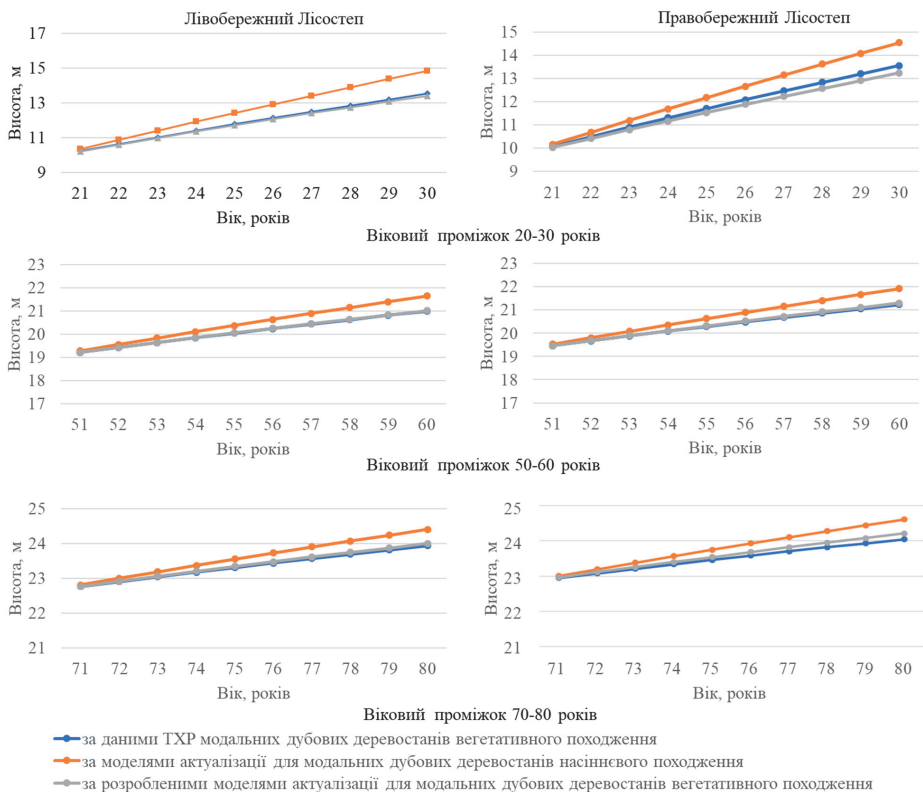


Рис. 4. Порівняння отриманих актуалізованих середніх висот із даними ТХР для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження та моделями актуалізації дубових насіннєвих штучних деревостанів

насінневих деревостанів, особливо в молодому віці (до 1,4 м). На рис. 5 наведемо аналогічні порівняння для прогнозу росту за середнім запасом.

Дані рис. 5 засвідчують, що при прогнозі росту за середнім запасом для ліво- та правобережної частини Лісостепу на вікових проміжках старше 50 років відхилення прогнозованих даних від значень таблиць ходу росту майже не відрізняються. Найбільше відхилення для Правобереж-

ного Лісостепу у віці 80 років становить $0,9 \text{ м}^3$, або $0,3 \%$, що є абсолютно несуттєвим. У віці прогнозування від 20 до 30 років відхилення прогнозованих запасів є більшими та становлять $4,0 \text{ м}^3$ для обох частин Лісостепу, або $3,5 \%$, що є в межах допустимої точності вимірювання запасу. Як і для попередніх даних для середньої висоти при порівнянні з наявними моделями актуалізації насінневих дубових насаджень спостерігаються відмінності в

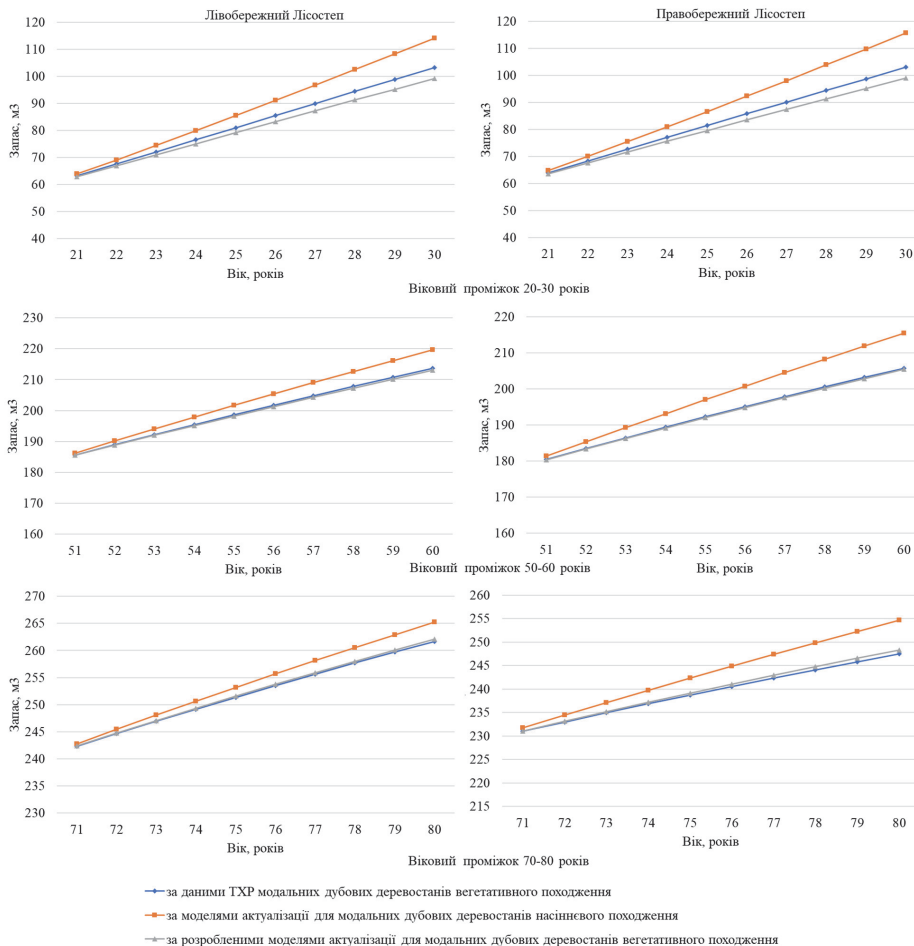


Рис. 5. Порівняння отриманих актуалізованих середніх запасів із даними ТХР для модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження та моделями актуалізації дубових насінневих штучних деревостанів

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 насаджень 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 і перспективи. За результатами проведених досліджень отримано математичні моделі актуалізації основних таксаційних показників для дубових деревостанів вегетативного походження, а саме для середньої висоти, середнього діаметра, суми площ поперечних перерізів на 1 га та запасу на 1 га. Розроблення моделей прогнозу росту здійснювалося на основі ТХР для модальних деревостанів дуба звичайного, розроблених авторами раніше. Дослідження підтверджують, що найточніші результати прогнозу росту модальних деревостанів досягаються, якщо період актуалізації таксаційних показників не перевищує 10 років, при цьому зі збільшенням базового віку прогнозу точність зростає. Потрібно зазначити, що аналіз моделей прогнозу росту не виявив суттєвих відхилень даних актуалізованих таксаційних показників від значень ТХР для модальних деревостанів дуба звичайного.

Список літератури

- Abramowitz, Milton, & Stegun, Irene A. (1965). *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. New York: Dover.
- Anuchin, N. P. (1982). *Forest mensuration*. Moscow: Forest industry [in Russian].
- Bala, O. P., & Terentiev, A. Yu. (2011). Comparative characteristic of stands indicators of modal oak stands of Ukraine. *Scientific bulletin of NULES of Ukraine, series "Forestry and park gardening"*, 164 (3), 11–19 [in Ukrainian].
- Bala, O. P. (2018). Foundation of the choice of the ranking factor for the creation of yield tables of modal hardwood tree species stands. In *the sustainable management of the forest complex and the balanced development of the urban landscapes* (pp. 14–15). Kyiv, Ukraine: National University of Life and Environment Science of Ukraine [in Ukrainian].
- Bala, O. P. (2019). *Modelling growth and yield of hardwood broadleaved stands in Ukraine*. Kyiv: LLC "KOMPRINT" [in Ukrainian].
- Bala, O. P., & Khan, E. Yu. (2016). The modeling of middle height dynamic of vegetative origin modal oak stands growth in Ukrainian Forest-steppe zone. *Scientific bulletin of UNFU of Ukraine*, 26.5, 22–27 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40260503>
- Bala, O. P., & Lakyda, I. P. (2019) Modeling mean height growth of modal hardwood broadleaved stands in Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10 (4), 4–16 [in Ukrainian].
- Handbook of forest mensuration*. (2013). Kyiv: Publishing house "Vinichenko" [in Ukrainian].
- Hirs, O. A., Novak, B. I., & Kashpor, S. M. (2004). *Forest inventory. Textbook*. Kyiv: Aristei (in Ukrainian).
- Kiviste, A. K. (1988). *The function of growth of forest*. Tartu [in Russian].
- Kobets, O. V. (2015). Growth of modal oak stands of the Velikoanadolsky forest area and using the forest growth potential. *Scientific bulletin of UNFU of Ukraine*, 25.10, 54–60 [in Ukrainian].
- Kozlovskyy, V. B., & Pavlov, V. M. (1967). *Growth of the main forest-forming tree species of the USSR*. Moscow: Forest industry [in Russian].

- Lakyda P. I., & Bala, O. P. (2012). *Actualization of growth parameters of artificial Oak stands of Forest-Steppe of Ukraine's*. Korsun-Shevchenkivskyi: FOP Havryshenko V. M. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., & Aleksiiuk, I. L. (2017). *Natural pine forest stands of Ukrainian Polissya: growth and productivity forecast*. Korsun-Shevchenkivskyi: FOP Maydachenko I. S. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., & Atamanchuk, R. V. (2014). *Forecast and productivity of modal birch stands in Ukrainian Polissya*. Korsun-Shevchenkivskyi: FOP Havryshenko V. M. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., & Volodymyrenko, V. M. (2008). *Artificial spruce stands of the Ukrainian Carpathians – growth and productivity forecast*. Kyiv: ESC IAE [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., Terentiev, A. Yu., & Vasylyshyn, R. D. (2012). *Scots pine stands of artificial origin in Ukrainian Polissya – growth and productivity forecast*. Korsun-Shevchenkivskyi: FOP Maydachenko I. S. [in Ukrainian].
- Moiseev, V. S., Moshkaliov, A. G., & Nakhabtsev, I. A. (1968). *The method of compiling yield tables and dynamics of the commodity structure of modal forest stands*. Leningrad: LenFTA [in Russian].
- Nikitin, K. E., & Shvidenko, A. Z. (1978). *Methods and techniques for processing forest information*. Moscow: Forestry industry [in Russian].
- Saban, I. A., et al. (1977). *Structure, growth and dynamics of commodity structure of stands of the main forest-forming tree species by forest types with silvicultural regioning*. Lviv [in Russian].
- Shmoilova, R. A., Mynashkyn, V. H., Sadovnikova, N. A., & Shuvalova, E. B. (2005). *Theory of statistics*. Moscow: Finance and statistics [in Russian].
- Shvidenko, A. Z., Shchepashchenko, D. G., Nilson, S., & Bului, Yu. I. (2003). The system of growth models and the dynamics of forest productivity in Russia (yield tables). *Forestry*, 6, 34–38.
- Shvidenko, A. Z., Stochinskiy, A. A., Savich, Yu. N., & Kashpor, S. N. (1987). *Regulatory and reference materials for the forest inventory in Ukraine and Moldova*. Kiev: Urozhay [in Ukrainian].
- Stochinskiy, A. A. (1992). *Methodical and normative-information provision of a system for regulating the forest plantations productivity in Ukraine*. Kyiv: UACA [in Russian].
- Stochinskiy, A. A. (1999). To the method of actualization of stand density and stock in the continuous forest inventory. *Scientific bulletin of National Agricultural University*, 17, 242–246 [in Ukrainian].
- Stochinskiy, A. A., Shvidenko, A. Z., & Lakida, P. I. (1992). *Models of growth and productivity of optimal stands*. Kiev: Publishing house USHA [in Russian].
- Svalov, N. N. (1979). *Modeling of stands productivity and forest exploitation theory*. Moscow: Forest industry [in Russian].
- Tkach, V. P., Golovach, R. V., & Vedmid, M. M. (2013). Growth course of vegetative oak forest of Left-bank Forest-Steppe. *Forestry and Forest Melioration*, 122, 47–55 [in Ukrainian].
- Yuditskii, Ya. A. (1982). *Modeling of growth patterns of forest stands as a basis for updating forest taxation information* (Doctoral dissertation). Ukrainian Academy of Agriculture, Kiev, Ukraine [in Russian].

Khan, Y. Y., Bala, O. P. (2020). Actualization of growth parameters of vegetative origin oak stands of the Ukrainian forest-steppe zone. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11 (2), 53–65. <https://doi.org/10.31548/forest2020.02.053>.

Sustainable forest management, which based on the balance of ecological, economic and social aspects, requires a continuous updating and developing tools of objective assessment of the current state and further prediction changes of all elements of the forest ecosystem. Currently, questions related to the forecasting in the forestry is very important for actualization the databases in cases when using the continuous forest inventory. Vegetative origin oak stands play an important role in forming natural ecosystems in the Ukrainian forest-steppe zone. They represent 26 percent of all oak stands area, and, therefore, the question related to the growth modelling of biometric indices will be important in the future. The purpose of this research was to develop the growth models based on yield tables for the main biometric indices, such as: mean height, mean diameter, cross-sectional area per 1 ha and growing stock per 1 ha. Growth models for forecasting all specified biometric indices was based on the ratio of biometric index for the year ahead to the same index now taken from the forest growth tables for modal vegetative origin oak stands across dynamical site classes and the geographical location. The description of the obtained results was based on the lognormal density distribution function. The main parameters of mathematical models for the forecasting biometric indices were set using the nonlinear regression function via the IBM SPSS statistics software. Graphical and analytical methods were used for comparing the study results and analysing the obtained data. As a result of the study, the coefficients of the equation were obtained, which with sufficient accuracy describe the studied relations and forecasting the growth of stands according to the main biometric indices in the different age intervals. The deviation of growth modelling results for the main biometric indices, exhibit acceptable levels when compared to yield tables for vegetative origin Oak stands of the Ukrainian forest-steppe zone during all forecasting period and in percentage values are less than 1%, but for forecasting the stock per 1 ha for young forests the deviation can approach 4%. The forecasting period should preferably not exceed 10-15 years.

Keywords: modal stands, oak, biometric indices, origin of stands, growth forecast, yield tables, mathematical modeling.

Отримано: 2020-04-21