

МОДЕЛЮВАННЯ ХОДУ РОСТУ МОДАЛЬНИХ ЯСЕНЕВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ УКРАЇНИ

О. П. Бала, кандидат сільськогосподарських наук,

І. М. Матейко, кандидат сільськогосподарських наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mails: bala@nubip.edu.ua, imateiko@nubip.edu.ua

***Анотація.** Таблиці ходу росту є одними із основних нормативно-довідкових даних, що використовуються під час ведення лісового господарства, обліку лісів та їх ресурсів. Необхідність розробки таких таблиць обґрунтовується їх широким застосуванням під час проектування та оцінювання лісгосподарських робіт, а також у разі проведення заходів із підвищення продуктивності лісів. Важливе місце серед цих нормативів займають таблиці ходу росту для модальних деревостанів.*

Мета дослідження – здійснити моделювання ходу росту за середньою висотою, середнім діаметром і запасом на 1 га ясеневих деревостанів насінневого та порослевого походження, що зростають переважно у Лісостепу України, та скласти відповідні таблиці ходу росту для модальних ясеневих деревостанів. Використовуючи повидільну базу даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2011 року, з якої відібрано ділянки з участю ясена звичайного, проведено моделювання основних таксаційних показників. Для математичного моделювання використано алометричну (степеневу) функцію (для моделювання середнього діаметра) та ростову функцію Мітчерліха (для моделювання середніх висоти та запасу). Використовуючи дані тимчасових пробних площ, на яких рубали та обмірювали модельні дерева, змодельовано середнє видове число ясеневих деревостанів України. На основі отриманих математичних моделей, з використанням загальноприйнятих лісотаксаційних формул, побудовано таблиці ходу росту для модальних ясеневих деревостанів насінневого та порослевого походження. Отримані таблиці ходу росту характеризують деревостан загалом та частину, що вибирається з насадження у результаті природного відпаду або проведених лісгосподарських заходів. Для частини, що вибирається, використано редуційні та видові числа, які були розраховані раніше для мішаних ясеневих деревостанів України, оскільки інтенсивність проведення господарських заходів у цих насадженнях однакова. Розроблені таблиці ходу росту для модальних ясеневих деревостанів можна використовувати як нормативно-інформаційне забезпечення для лісового господарства, оскільки вони дають можливість відобразити поточний стан ясеневих лісів України.

Ключові слова: ясен звичайний, модальні деревостани, середні таксаційні показники, динамічна бонітетна шкала, таблиці ходу росту, функція Мітчерліха.

Актуальність. Для оцінки стану лісів, їх продуктивності та особливостей росту в сучасному лісовому господарстві України використовують значну кількість нормативно-довідкової інформації. Зокрема, для цього розроблено низку нормативів у вигляді таблиць ходу росту, сортиментних, товарних, стандартних та інших таблиць (Handbook of forest mensuration, 2013, Shvidenko ed., 1987, Strochinskiy, Shvidenko & Lakida, 1992). Таблиці ходу росту є одними із основних нормативно-довідкових даних, що використовуються під час ведення лісового господарства, обліку лісів та їх ресурсів. Необхідність розробки цих таблиць обґрунтовується їх широким застосуванням під час проектування та оцінювання лісогосподарських робіт, а також у разі здійснення заходів із підвищення продуктивності лісів. Чільне місце серед цих нормативів займають таблиці ходу росту модальних деревостанів, які описують сучасний стан фактично існуючих, найпоширеніших насаджень, а не певні умовні деревостани (повні чи найпродуктивніші).

Моделювання росту лісу значною мірою залежить від наявності достатньої кількості точної та повної інформації. Збір останньої є досить трудомістким і витратним процесом, особливо коли це стосується збору даних на постійних пробних площах. Проте не обов'язково мати великий банк даних постійних пробних площ. Відносно мала кількість проб, особливо корисних для створення системи прийняття рішень, у поєднанні із тимчасовими вибірковими пробними площами та аналізом ходу росту деревних стовбурів, можуть забезпечити достатню кількість даних для розробки прийнятних функцій росту насаджень (Nikitin & Shvidenko, 1973). Значна кількість розроблених таблиць ходу росту відображає ріст деревостанів одного, середнього класу бонітету. Такі таблиці мають обмежене практичне застосування. Вихідний матеріал, переважно, згрупований за типами лісорослинних умов (типами лісу) або класами бонітету загальної бонітетної шкали, тобто за статичними рядами

розподілу деревостанів за класами віку та висоти, при цьому не враховуються природні ряди розвитку.

Мета дослідження. На основі розробленої динамічної бонітетної шкали (Bala, 2018) та використовуючи дані повидільної бази даних досліджуваних деревостанів, здійснити моделювання ходу росту за середньою висотою, середнім діаметром і запасом на 1 га ясеневих деревостанів насіннєвого та порослевого походження, що зростають переважно у Лісостепу України, та скласти відповідні таблиці ходу росту для модальних ясеневих деревостанів регіону досліджень.

Матеріали і методи дослідження. Для проведення досліджень використано дані тимчасових пробних площ, закладених у ясеневих деревостанах Лісостепу України, а також повидільна база даних, надана ВО «Укрдержліспроєкт» станом на 01.01.2011 року, яка характеризує деревостани ясена звичайного.

Серед значної кількості методик складання таблиць ходу росту слід виокремити наявність спільних двох етапів (Anuchin, 1982, Svalov, 1983). Перший – встановлення типу росту насадження, який характеризує особливість його динаміки за певним таксаційним показником і залежить від ґрунтово-кліматичних умов, які, головним чином, визначаються географічним положенням та впливають на продуктивність (Davidov, 1977, Davidov, 1987). Другий етап – встановлення взаємозв'язків (як правило, регресійних) між таксаційними ознаками встановлених природних рядів. Цей аналіз може виконуватись на основі даних тимчасових пробних площ, а також на основі даних повидільної таксаційної характеристики модальних насаджень. Обидва зазначені етапи складання таблиць ходу росту використано у процесі виконання даної роботи.

Результати дослідження та їх обговорення. З метою побудови таблиць ходу росту для модальних ясеневих деревостанів України, повидільну базу даних ВО «Укрдержліспроєкт» для досліджуваних деревостанів було розділено

за класами бонітету динамічної бонітетної шкали (Bala, 2018), а також у розрізі груп деревостанів за походженням та складом.

Після виконання описаної агрегації даних проведено моделювання середньої висоти ясеневих деревостанів у межах класів бонітету за допомогою ростової функції Мітчерліха (A. Mitscherlich):

$$H = a_0 \cdot \left(1 - e^{-a_1 \cdot A}\right)^{a_2}, \quad (1)$$

де H – середня висота деревостану, м;

A – середній вік деревостану, років;

a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти регресії.

Рівняння (1) задовольняє усі вимоги, що ставляться до функцій росту, а саме: проходить через початок координат, монотонно зростає на всій області визначення, має при цьому S-подібну форму тренду. Крім того, гнучкість та зручність формули зробили масовим її застосування під час моделювання динаміки таксаційних показників (Kuzmichev, 1977, Kofman, 1986, Kiviste, 1988, Hall & Bailey, 2001, Hall & Clutter, 2004, Bala, 2004, Lakyda & Bala, 2012, Lakyda & Vasylyshyn, 2016,). Отримані в результаті моделювання значення параметрів рівняння (1) та відповідні коефіцієнти детермінації (R^2) наведено в табл. 1.

Як видно з даних табл. 1, показник коефіцієнта детермінації, який вказує на ступінь охоплення отриманою моделлю вихідних даних, засвідчує прийнятність отриманої математичної моделі для апроксимації залежності середньої висоти від віку насадження.

Під час проведення досліджень та оцінювання параметрів отриманих моделей керувалися загальними передумовами регресійного аналізу (Draeger & Smith, 1976), а саме:

- регресійна модель має пояснювати більше ніж 90 % варіації залежної змінної (коефіцієнт детермінації $R^2 > 0,9$);
- достовірність моделі оцінюється за F -критерієм Фішера;
- коефіцієнти при незалежних змінних мають бути значущими на 5 %-му рівні за t -критерієм Ст'юдента;

– відносна похибка має становити менше 10 % середнього значення прогнозованого показника;

– залишки регресії повинні мати нормальний розподіл без автокореляції та систематичних відхилень.

1. Параметри та коефіцієнти детермінації рівняння (1) в розрізі класів бонітету та досліджуваних груп деревостанів ясена звичайного

Клас бонітету	Коефіцієнти рівняння			R^2
	a_0	a_1	a_2	
Вегетативні мішані ясеневі деревостани				
I ^a	33,364	0,034716	1,343	0,998
I	30,539	0,031954	1,273	0,995
II	27,812	0,028885	1,206	0,995
III	22,592	0,036152	1,417	0,992
IV	18,982	0,035814	1,412	0,988
V	15,525	0,035216	1,406	0,983
Насіннєві природні мішані ясеневі деревостани				
I ^a	39,142	0,017705	1,099	0,998
I	34,455	0,018794	1,151	0,997
II	30,952	0,018090	1,150	0,995
III	25,639	0,019681	1,199	0,994
IV	20,839	0,020450	1,236	0,983
V	15,833	0,021731	1,254	0,971
Насіннєві штучні мішані ясеневі деревостани				
I ^a	37,905	0,019411	1,154	0,998
I	34,225	0,019225	1,174	0,998
II	31,635	0,016990	1,126	0,997
III	27,216	0,016746	1,130	0,995
IV	23,598	0,014582	1,058	0,993
V	16,834	0,018875	1,188	0,987

Наступним таксаційним показником, що підлягав моделюванню, був середній діаметр деревостану. Цей показник знаходиться у тісній залежності з віком та середньою висотою насаджень. Отже, моделювання середнього діаметра проводилося як функція від віку та середньої висоти. В результаті

багатоваріантного пошуку адекватних моделей росту для побудови нормативів середнього діаметра було використано алометричну функцію, яка має велику гнучкість. Оскільки як фактори використовували вік та середню висоту, то отримана модель може бути придатна для будь-якого класу бонітету та набуде такого виду:

$$D = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot H^{a_2}, \quad (2)$$

де D – середній діаметр деревостану, см.

Використавши функцію нелінійної регресії знайдено коефіцієнти рівняння (2), значення яких наведено в табл. 2.

2. Параметри та коефіцієнти детермінації рівняння (2) в розрізі досліджуваних груп деревостанів ясена звичайного

Група деревостану за походженням та складом	Коефіцієнти рівняння			R^2
	a_0	a_1	a_2	
Вегетативні мішані деревостани	0,616	0,363	0,731	0,837
Насіннєві природні мішані деревостани	0,653	0,353	0,722	0,831
Насіннєві штучні мішані деревостани	0,910	0,230	0,776	0,875

Аналізуючи дані табл. 2 можна стверджувати про достатньо високий рівень точності отриманої математичної моделі. Коефіцієнт детермінації R^2 варіює від 0,831 до 0,875, це означає, що рівняння описує значну частку емпіричних даних. Адекватність отриманих рівнянь за принципом дисперсійного аналізу оцінювали за F -критерієм Фішера, а значущість коефіцієнтів рівняння визначали за допомогою t -критерію Ст'юдента, які показали, що дана модель адекватно описує вхідні емпіричні дані.

У дослідженнях, присвячених моделюванню ходу росту за сумою площ поперечних перерізів, виникла проблема у встановленні вікових залежностей цього таксаційного показника. Зокрема, за даними інших дослідників (Koloso, 2002, Petrenko, 2002), під час роботи над таблицями ходу росту модальних деревостанів, було помічено, що для деяких класів бонітету в старшому віці спостерігається зменшення сум площ поперечних перерізів. Зважаючи на це,

вирішено змодельовати запас деревостану на основі повидільної бази даних та видове число за даними модельних дерев на тимчасових пробних площах, а показник суми площ поперечних перерізів розрахувати виходячи із класичної формули лісової таксації.

Для моделювання запасу ясеневих деревостанів також використано функцію Мітчерліха, де незалежною змінною є середня висота деревостану, оскільки ростові функції найкраще описують подібні залежності. Отже, модель набула такого загального вигляду:

$$M = a_0 \cdot (1 - e^{-a_1 \cdot H})^{a_2}, \quad (3)$$

де M – запас деревостану, м^3 .

Враховуючи, що за аргумент було використано середню висоту деревостану, немає необхідності знаходити моделі за класами бонітету, достатньо зробити це в розрізі досліджуваних груп деревостанів за походженням та складом насадження. Отримані коефіцієнти рівняння (3) наведено в табл. 3.

3. Параметри та коефіцієнти детермінації рівняння (3) в розрізі досліджуваних груп деревостанів ясена звичайного

Група деревостану за походженням та складом	Коефіцієнти рівняння			R^2
	a_0	a_1	a_2	
Вегетативні мішані деревостани	1983	0,016388	1,792	0,875
Насіннєві природні мішані деревостани	3243	0,011354	1,723	0,903
Насіннєві штучні мішані деревостани	1714	0,018586	1,822	0,823

Як і в попередніх випадках усі характеристики точності та адекватності математичної моделі (3) вказують на прийнятність отриманого рівняння для математичної апроксимації залежності запасу від середньої висоти насадження.

Динаміку фактичних середніх значень та змодельований хід росту за запасом модальних ясеневих деревостанів за основними класами бонітету насаджень можна побачити на рис. 1.

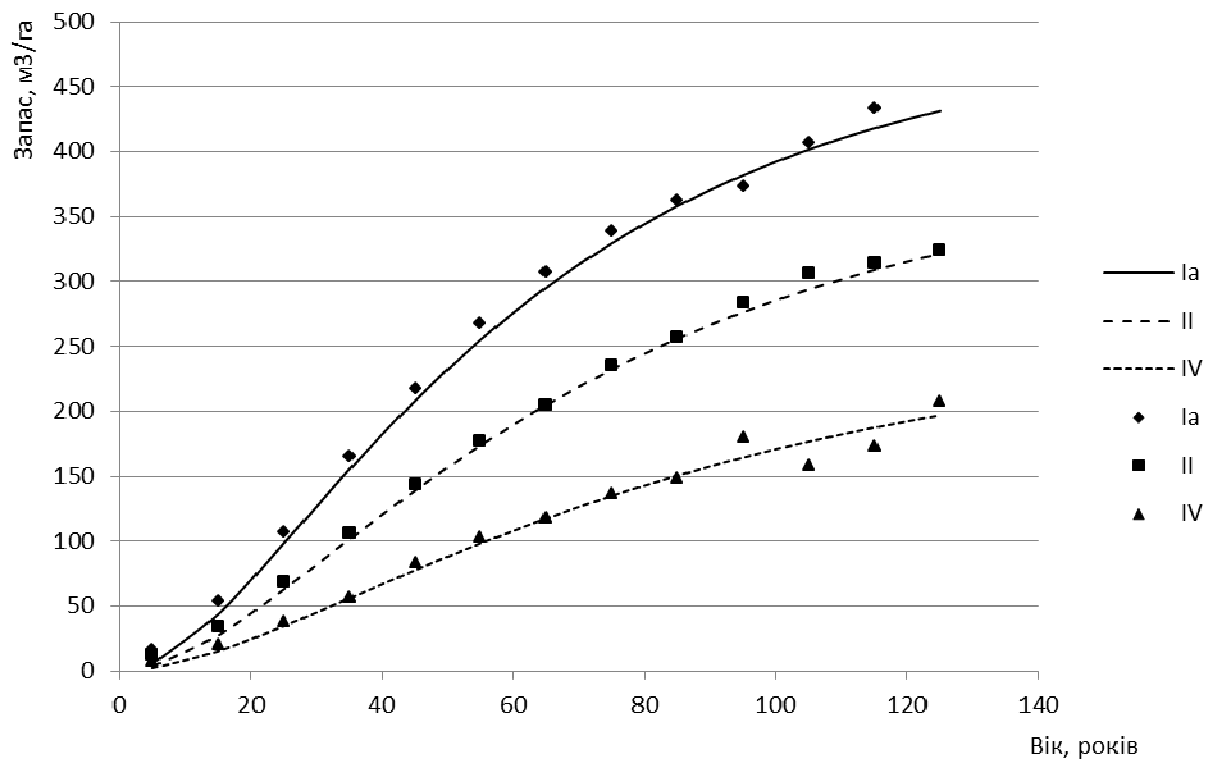


Рис. 1. Порівняння динаміки середніх фактичних і вирівняних запасів ясеневих деревостанів за основними класами бонітету (точки – фактичні дані, лінії – вирівняні дані).

З графічно відображених на рис. 1 даних, можна впевнитись, що запропонована вище модель достатньо точно описує дослідні дані, на основі яких проводили моделювання. Як бачимо, відхилення між змодельованим і фактичним запасами ясеневих деревостанів у межах класів бонітету є несуттєвими.

Середнє видове число у базі даних повидільної таксаційної характеристики лісів відсутнє, тому його моделювання для ясеневих деревостанів проводили використовуючи дані бази тимчасових пробних площ. Для моделювання застосовують декілька загальноприйнятих математичних виразів. Так, застосовують алометричну функцію гіперболи різних порядків, інколи до рівнянь включають експоненційну функцію (Strochinskiy, Shvidenko & Lakida, 1992). Як аргументи використовують середні висоту та діаметр насаджень або їх поєднання. У результаті багатоваріантного пошуку залежності

видового числа (F) ясеневих деревостанів від їх віку, середніх висоти та діаметра, оптимальною виявилася така математична модель:

$$F = 0,431 + \frac{0,722}{H} + \frac{1,763}{H \cdot D} . \quad (4)$$

Незаперечним рівнянням у лісовій таксації є так звана класична формула (Anuchin, 1982). Оскільки вище вже проведено моделювання запасу, видового числа та середньої висоти ясеневих деревостанів, користуючись цією формулою можна легко визначити суму площ перерізів досліджуваного деревостану, використовуючи вираз $G = M / (H \cdot F)$.

Кількість стовбурів (N) у таблицях ходу росту розраховується шляхом ділення суми площ поперечних перерізів на 1 га на площу поперечного перерізу середнього дерева, яка визначається за середнім діаметром насадження. Відповідно, кількість стовбурів на 1 га ясеневих деревостанів розраховано за формулою:

$$N = \frac{40000 \cdot G}{\pi \cdot D^2} . \quad (5)$$

Аналіз отриманих за формулою (5) даних показав, що для вищих класів бонітету кількість стовбурів на 1 га є меншою, ніж для нижчих, що є логічним та відповідає природі росту лісових насаджень.

Однією із важливих таксаційних ознак, яка характеризує продуктивність лісостанів, є приріст. Розрізняють приріст деревостану за висотою, діаметром, об'ємом (запасом) та ін. Найпоширенішим на практиці є приріст деревостану за запасом, який також ділиться на декілька видів. Приріст, який визначають шляхом ділення наявного запасу деревостану на його вік називається неповним середнім приростом або середньою зміною запасу (Δ_M^{cp}) (Antanaitis, 1969) та обчислюється за формулою $\Delta_M^{cp} = M_{1ca} / A$, де M_{1ca} – середній запас насаджень на 1 га.

Деякі вчені (Matveev-Motin, 1962, Dvoretiskii, 1964) цей вид приросту назвали середнім накопиченням запасу. В таблицях ходу росту він визначається як середній приріст головної породи або породи, що переважає. Повний

середній приріст деревостану, крім наявного запасу, включає також величину приросту відпаду.

Для визначення поточного приросту деревостану за запасом (Δ_M^{nom}), необхідно знати запаси для насаджень різного віку (M_A – запас наявного деревостану у віці A ; M_{A-n} – запас цього деревостану n років тому), як правило, період їх визначення становить 5 або 10 років. Тоді поточний приріст деревостану визначають як середній за певний період часу використовуючи таку формулу: $\Delta_M^{nom} = (M_A - M_{A-n})/n$. У нашому випадку величина періоду (n) становить 5 років.

Для частини деревостану, що вибирається під час проведення рубок, пов'язаних з веденням лісового господарства, перш за все потрібно знайти основні таксаційні параметри, від величини яких залежать інші показники, а саме: середні висоту та діаметр. Під час закладання тимчасових пробних площ у ясеневих деревостанах не виділяли окремо частину, що буде вибиратися з насадження під час проведення господарських заходів і ці показники не визначали. Проте їх можна визначити використовуючи редуційні числа для частини деревостану, що вибирається під час рубки, які були використані із роботи (Strochinskiy, Shvidenko & Lakida, 1992). Для висоти (R_H) та діаметру (R_D) застосовували рівняння одного виду, в результаті були використані такі формули для ясеневих деревостанів:

$$R_H = 0,596 + 0,0111 \cdot A^{0,689}, \quad (6)$$

$$R_D = 0,100 + 0,379 \cdot A^{0,111}. \quad (7)$$

Середній діаметр (D^B) та середню висоту (H^B) частини деревостану, що вибирається знаходили за формулами:

$$D^B = D \cdot R_D, \quad (8)$$

$$H^B = H \cdot R_H. \quad (9)$$

Наступним кроком було визначення кількості дерев на 1 га для частини деревостану, що вибирається (N^B), за різницею між кількістю стовбурів

деревостану 5 років тому та кількістю дерев, що зростають зараз. Тобто кількість дерев у насадженні змінюється на величину, яка була вибрана (відпала) за 5 років. Видозмінивши формулу (5), знаходимо суму площ поперечних перерізів частини деревостану, що вибирається (G^B), використавши вже знайдені середній діаметр (D^B) та кількість дерев на 1 га (N^B):

$$G^B = \frac{\pi \cdot (D^B)^2}{40000} \cdot N^B.$$

Запас частини деревостану, що вибирається, розраховано за класичною формулою лісової таксації, однак зі всіх її складових не вистачає величини видового числа. Значення цього показника для частини деревостану, що вибирається було використане те ж, що і для деревостану на корені, а саме модель (4).

Сума запасів частини деревостану, що вибирається (враховуючи інтенсивність господарювання у дібровах України, цей показник можна назвати сумою запасів проміжного користування), визначається шляхом накопичення запасів частини деревостану, що вибирається, та показує той загальний стовбуровий запас, який було вилучено з насадження до певного віку:

$$\sum M_A^B = M_A^B + \sum M_{A-5}^B, \quad (10)$$

де $\sum M_A^B$ – сума запасів проміжного користування у віці A , м³;

M_A^B – запас, що вибирається із насадження у віці A , м³;

$\sum M_{A-5}^B$ – сума запасів проміжного користування 5 років тому, м³.

Загальна продуктивність деревостанів є одним із найважливіших показників під час побудови таблиць ходу росту для визначення середнього та поточного приросту. Вона враховує не лише наявний запас, а й той, який відпав або був вибраний у результаті господарського втручання людини. Загальна продуктивність визначається як сума запасу насадження на корені та накопиченого запасу відпаду.

Повний середній приріст ясеневих деревостанів за запасом (Z_M^{sep}) визначався за відомою у лісовій таксації формулою $Z_M^{sep} = M_A^{заг} / A$.

Поточний приріст деревостанів за запасом залежить від низки біологічних, екологічних, господарських та інших факторів (Antanaitis, 1969).

Поточний приріст знаходимо за такою формулою:

$$Z_M^{nom} = \frac{M_A^{zag} - M_{A-5}^{zag}}{5}. \quad (11)$$

де M_A^{zag} – загальна продуктивність за запасом у віці A , м³;

M_{A-5}^{zag} – загальна продуктивність за запасом 5 років тому, м³.

Таблиці ходу росту модальних деревостанів, як уже було зазначено, складаються для певної модальної повноти, і хоча ця повнота з віком змінюється, проаналізувавши отриману модель середнього діаметра насадження для різних класів бонітету, було зроблено такий висновок: враховуючи точність визначення відносної повноти на практиці та під час лісовпорядкування, можна вважати, що модальною для всіх класів бонітету є повнота 0,7 і всі таблиці ходу росту можемо вважати розробленими саме для цієї повноти.

Фрагмент отриманих таблиць ходу росту модальних ясеневих деревостанів для І класу бонітету наведено в табл. 4.

4. Хід росту модальних штучних деревостанів ясеня звичайного насіннєвого походження України для І класу бонітету.

Вік, років	Деревостан								Частина, що вирубується				Загальна продуктивність, м³	Загальний приріст, м³	
	середня висота, м	середній діаметр, см	кількість дерев, шт.	сума площ поперечних перетинів, м²	видове число	запас, м³	зміна запасу, м³		середня висота, м	середній діаметр, см	кількість дерев, шт.	запас, м³		середній	поточний
							середня	поточна							
10	4,4	4,9	3179	6,0	0,676	18	1,8		2,9	2,9			18	1,8	
15	6,7	7,5	2144	9,4	0,573	36	2,4	3,7	4,5	4,6	1035	5	41	2,8	4,7
20	9,0	9,9	1567	12,2	0,531	58	2,9	4,3	6,1	6,2	577	7	70	3,5	5,6
25	11,0	12,3	1215	14,5	0,509	81	3,3	4,7	7,7	7,9	351	8	101	4,0	6,2
30	13,0	14,6	985	16,4	0,496	106	3,5	4,9	9,2	9,5	231	8	133	4,4	6,5
35	14,8	16,7	824	18,0	0,487	130	3,7	4,9	10,7	11,1	160	9	166	4,8	6,6
40	16,5	18,7	707	19,4	0,481	154	3,9	4,8	12,1	12,5	117	9	200	5,0	6,6
45	18,0	20,6	619	20,6	0,476	177	3,9	4,6	13,5	14,0	88	9	232	5,2	6,5
50	19,4	22,4	551	21,7	0,472	199	4,0	4,4	14,8	15,3	68	9	263	5,3	6,3
55	20,7	24,1	497	22,6	0,469	220	4,0	4,2	16,0	16,6	54	10	294	5,3	6,1
60	21,9	25,6	453	23,4	0,467	239	4,0	3,9	17,2	17,9	44	9	323	5,4	5,8
65	23,0	27,1	416	24,1	0,465	258	4,0	3,7	18,3	19,0	36	9	350	5,4	5,5
70	24,0	28,5	386	24,7	0,464	275	3,9	3,4	19,3	20,2	30	9	377	5,4	5,2

Висновки і перспективи.

1. Отримано математичні моделі росту за середніми висотою, діаметром і запасом на 1 га для ясеневих деревостанів насіннєвого та порослевого походження з використанням повидільної бази даних і розробленої динамічної бонітетної шкали.

2. Використовуючи дані тимчасових пробних площ, отримано математичну модель для визначення видового числа ясеневих деревостанів досліджуваного регіону.

3. На основі отриманих математичних моделей, з використанням моделей редукційних чисел, побудовано таблиці ходу росту для модальних ясеневих деревостанів України для деревостану на корені та частини, що вибирається, а також розраховано загальну продуктивність досліджуваних деревостанів.

4. Розроблені таблиці ходу росту для модальних ясеневих деревостанів насіннєвого та порослевого походження України можна використовувати як нормативно-інформаційне забезпечення для лісового господарства, яке є необхідним під час проектування лісогосподарських заходів, спрямованих на підвищення продуктивності лісів, оскільки дає можливість відобразити поточний стан ясеневих лісів України.

Referenses

- Antanaitis, V. V. (1969). *Forest increment*. Moscow : Forest industry [in Russian].
- Anuchin, N. P. (1982). *Forest mensuration*. Moscow : Forest industry [in Russian].
- Bala, O. P. (2004). Modeling of the dynamic of stand indicators of artificial modal oak stands of the Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific bulletin of NAU*. 71. 155-162 [in Ukrainian].
- Bala, O. P. (2018). Mathematical software for calculation dynamic site index table for hardwood modal stands. *Problems of development of forest mensuration, inventory and management*. 29-30. Kyiv, : National university of life and environment science of Ukraine [in Ukrainian].
- Davidov, M. V. (1977). The types of growth of pine forests of the European part USSR. *Forest magazine*. 4. 36-41 [in Russian].
- Davidov, M. V. (1987). *The types of growth and estimation of site indexes of stands. Lecture*. Kyiv : USHA [in Russian].

- Draper, N. R., Smith, H. (1976). *Applied regression analysis*. Moscow [in Russian].
- Dvoretskii, M. L. (1964). *Current increment of wood of stem and stand*. Moscow : Forest industry [in Russian].
- Hall, D., Bailey, R. (2001). Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. *Forest Science*, 47(3), 311-321.
- Hall, D., Clutter, M. (2004). Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions. *Biometrics*, 60, 16-24.
- Handbook of forest mensuration* (2013). Kyiv : Publishing house "Vinichenko" [in Ukrainian].
- Kiviste, A. K. (1988). *The function of growth of forest. Appendix*. Tartu [in Russian].
- Kofman, H. B. (1986). *Growth and tree stems form*. Novosibirsk : Science [in Russian].
- Kolosok, O. M. (2002). *The productivity and structure of the live biomass of artificial spruce stands in the Ukrainian Carpathians*. Kyiv [in Ukrainian].
- Kuzmichev, V. V. (1977). *Stands growth specifics*. Novosibirsk : Science [in Russian].
- Lakyda, I. P., Vasylyshyn, R. D. (2016). Methodological background for development of a system of growth and productivity models for stands of the main forest-forming tree species of Ukraine. *Forestry and agroforestry*. 129. 3-9 [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., Bala, O. P. (2012). *Actualization of growth parameters of artificial oak stands of Forest-Steppe of Ukraine's*. Korsun-Shevchekivskyi [in Ukrainian].
- Matveev-Motin, A. S. (1962). *The increment and productivity of forest*. Moscow : Goslesbumizdat [in Russian].
- Nikitin, K. E., Shvidenko, A. Z. (1973). *Mathematical modeling in forestry*. Kiev [in Russian].
- Petrenko, M. M. (2002). *Dynamics of live biomass and deposited carbon in artificial pine stands of Polissya of Ukraine*. Kyiv [in Ukrainian].
- Shvidenko, A. Z. ed. (1987). *Normative and reference materials for the forest inventory of Ukraine and Moldova*. Kiev : Urozhai [in Russian].
- Strochinskiy, 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. (1983). The main provisions of the methodology for modeling tree stand productivity. *Scientific bulletin of LitSHA*, 38-40 [in Russian].

MODELING GROWTH OF MODAL COMMON ASH STANDS IN UKRAINIAN

O. Bala, I. Mateiko

Abstract. Yield tables are one of the main normative data in forest management, accounting of forests and their resources are used. The develop yield tables need for planning and evaluation of forestry operations on forest enterprises as well as when taking action to improve forest productivity. A significant number of yield tables developed reflect the growth of stands of one, middle class of site index. Such tables are of limited practical use. Yield tables for modal stands are an important part of

these forest normative. Aim of this scientific research: to model the growth by average height, average diameter and stock per hectare for ash stands of seed and vegetative origin, mainly located in the Forest-Steppe of Ukraine and to develop yield tables for modal ash stands. Modeling forest growth is largely dependent on the availability of sufficient accurate and complete information. Used on the stand-wise database of IA "Ukrderzhlisproekt" as of January 1, 2011, main mensurational indices, namely mean height, mean diameter and growing stock per hectare of ash stands in Ukrainian, have been modelled. Mathematical models employ allometric (power) function (for mean diameter modeling) and Mitscherlich growth function (for mean height and growing stock modeling). Using the data collected at temporary sample plots, where model trees were cut down and measured, mean form factor of ash stands in Ukrainian has been modeled. The developed mathematical models together with conventional forest mensuration formulas have enabled development of yield tables for modal stands of ash of natural (seed) and vegetative origin in Ukrainian. The resulting yield tables describe tree stands and their removed parts (due to natural thinning or forest management activities). For removed part, reduction numbers and form factors that were obtained for mixed ash stands are used, since intensity of management activities in these stands does not differ significantly. Developed yield tables for modal ash stands can be used as information support for forest enterprises, since it gives an opportunity to reflect the current state of ash forests of Ukraine.

Key words: ash, mean mensurational indices, dynamic site index scale, yield tables, modal stands, Mitscherlich function.