

УДК 630*56

В. П. ТКАЧ, В. І. РОГОВИЙ, В. П. ПАСТЕРНАК***МОДЕЛЮВАННЯ ХОДУ РОСТУ БУКОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ КРИМУ***Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького*

Наведено алгоритм і математичні моделі для оцінювання існуючого стану та прогнозування росту модальних букових деревостанів Криму.

Ключові слова: бук кримський (східний), хід росту, модальні деревостани, тип лісу, таксаційні показники, продуктивність, математичні моделі.

Концепцією реформування та розвитку лісового господарства [8] передбачено вдосконалення системи інформаційного забезпечення галузі та впровадження новітніх технологій. Це вимагає розробки відповідних нормативно-інформаційних матеріалів для оцінювання та прогнозування росту головних лісоутворювальних порід України з урахуванням зональних особливостей [9]. Наявність достатньої кількості таксаційних нормативів, які повною мірою враховуватимуть умови росту й розвитку деревостанів, дасть змогу об'єктивніше оцінювати лісосировинні ресурси, прогнозувати ріст деревостанів, контролювати ефективність лісогосподарських заходів, а також аргументовано вирішувати різноманітні лісівничі проблеми [25].

Таблиці ходу росту (ТХР) покладені в основу нормативно-довідкових даних при веденні лісового господарства, обліку лісів і лісових ресурсів. Їх використовують при проектуванні та плануванні лісогосподарських робіт, здійсненні заходів із підвищення продуктивності лісів [11]. Розрізняють таблиці ходу росту нормальних, оптимальних і модальних насаджень. Модальні ТХР на відміну від інших відображують реальний сучасний стан лісів. Тому саме їх найчастіше застосовують при проектуванні лісогосподарських заходів [5, 20]. Наявні таблиці ходу росту та продуктивності деревостанів [7, 13] не повною мірою забезпечують лісогосподарське виробництво та лісовпорядкувальну практику. Викладені у попередній роботі [18] результати наших досліджень ходу росту букових деревостанів Криму свідчать про особливості динаміки їхніх таксаційних показників, що не відображені у чинних нормативах [13]. Існуючі таблиці ходу росту деревостанів бука європейського (*Fagus sylvatica* L.) II – I^b бонітетів, що ростуть в Українських Карпатах, не можуть бути використані для оцінювання відповідних показників деревостанів бука кримського (східного) (*F. taurica* Popl.).

Моделювання росту деревостанів значною мірою залежить від наявності точної та повної інформації, однак для цього не обов'язково мати великий банк даних постійних пробних площ [11]. Використання бази даних "Повидільна таксаційна характеристика земельних ділянок лісового фонду" (БД ПТХЛ) в поєднанні із результатами порівняно невеликої кількості пробних площ та аналізами ходу росту деревних стовбурів можуть забезпечити достатню інформацію для розробки функцій росту лісових насаджень [11, 12].

У процесі досліджень використано матеріали повидільної бази даних лісового фонду Криму, де головною лісоутворювальною породою є бук (станом на 01.01.2007 р.). БД ПТХЛ включає такі таксаційні характеристики деревостанів: площа ділянки (S), га; вік (A), років; середній діаметр (D), см; середня висота (H), м; повнота (P), запас на 1 га ($M_{1га}$), $m^3 \cdot га^{-1}$; загальний запас на виділі (M), m^3 ; частка ділової деревини, %; бонітет (B), тип лісорослинних умов (ТЛУ), тип лісу (ТЛ), породний склад та ін. У повидільній базі даних відсутні значення суми площ перерізу (G) та кількості стовбурів (N). Їх розрахунок проведено з використанням загальновідомих методик лісової таксації [1], а також виведеної нами залежності середнього видового числа (F) від висоти (H) для деревостанів бука кримського ($F = 1,1126 \cdot H - 0,2845$) [18]. Виявлення неточностей у базі даних для основних таксаційних показників букових

* © В. П. Ткач, В. І. Роговий, В. П. Пастернак, 2009

деревостанів здійснювали шляхом комп'ютерної верифікації матеріалу, в результаті чого лісові ділянки з помилковими характеристиками були відкинуті [6].

У роботі також використано результати досліджень, проведених на 46 пробних площах (ПП), а також матеріали обробки зрубаних на них модельних дерев. Розподіл букових деревостанів за типами вікової структури здійснювали відповідно до класифікації Г. В. Семечкіна (1963) залежно від коефіцієнтів варіації таксаційних ознак. Закладання ПП, відбір модельних дерев, збір польових матеріалів та їх обробку здійснювали згідно із загальноприйнятими у лісівництві та лісовій таксації методиками [1, 3].

За матеріалами лісовпорядкування, площа букових лісів Криму нині сягає 34,9 тис. га, або 13,4 % укритих лісовою рослинністю земель, загальний запас – 9,7 млн. м³. Бучняки на півострові представлені переважно змішаними за складом природними деревостанами, основна частина (67,0 %) з яких – насінневого походження, решта – вегетативного.

За формою букові деревостани Криму переважно є простими, у більшості випадків чітко розмежування на яруси в них не простежується. Питома частка складних (переважно двохярусних) бучняків становить лише 1,8 %.

Відповідно до розподілу деревостанів на пробних площах за типами вікової структури, більшість із них (91,3 %) є умовно різновіковими та різновіковими. Окремі випадки, де таксаційна будова бучняків наближена до ознак, характерних для одновікових та умовно одновікових деревостанів, спричинені попереднім проведенням у них рубок догляду за низовим методом.

В умовах Криму бук росте у 28 типах лісу, у дев'яти з них є едифікатором. Проте, переважна частина (90,8 %) букових деревостанів росте у чотирьох типах лісу: свіжій грабовій суббучині (С₂-гБк), свіжій дубово-грабовій суббучині (С₂-д-гБк), свіжій грабовій бучині (D₂-гБк) та свіжій дубово-грабовій бучині (D₂-д-гБк), які є переважаючими та господарсько-цінними типами лісу.

Основними напрямками класифікації лісових насаджень при вивченні закономірностей їх формування є об'єднання деревостанів за подібністю лісорослинних умов (типів лісу) і таксаційних показників [9]. У нашій роботі враховано ці принципи. Спочатку було виконано групування букових деревостанів за лісорослинними умовами, а потім за класами бонітету.

У наукових працях, присвячених проблемам і мотивам лісотипологічного групування (у т. ч. гірського), підкреслюється, що об'єднання лісів має базуватися на лісотипологічній класифікації з використанням обґрунтованих лісівничо-екологічних діагнозів, знань про розподіл типів у просторі та їх господарське значення [14, 15]. Критеріями під час групування букових типів лісу були однакова продуктивність деревостанів і подібність інших діагностичних ознак (складу деревостанів, характеристики чагарникової і трав'яної рослинності, ґрунтових умов). Для встановлення суттєвості різниці у продуктивності деревостанів різних типів лісу (С₂-гБк, С₂-д-гБк, D₂-гБк і D₂-д-гБк) використано критерій Фішера [10]. У результаті порівняння основних таксаційних показників (D, H, P, G, M_{1га}) у найбільш статистично представлених (VII – XX) класах віку визначено з імовірністю 0,95, що в межах ТЛУ дисперсії вибірок різних типів лісу є подібними, оскільки на 5 %-му рівні значущості фактичне значення F-критерію не перевищує критичного (за винятком окремих випадків). Отже, гіпотеза про відмінність параметрів продуктивності букових деревостанів у різних типах лісу одного едатопу відкидається ($F < F_{5\%} - H_0$) [10]. За матеріалами повидільної бази даних і пробних площ, склад деревостанів, характеристика чагарникової і трав'яної рослинності також суттєво не відрізняються. Ґрунтові умови букових деревостанів у різних ТЛ детально вивчав П. П. Посохов [17]. Відмінностей за едафо-гідрологічними умовами між типами лісу С₂-гБк та С₂-д-гБк, так само, як між D₂-гБк та D₂-д-гБк, ним не виявлено. При порівнянні букових лісовостанів різних едатопів (С₂, D₂) встановлено значущу різницю між їхніми таксаційними показниками та іншими діагностичними ознаками.

Враховуючи наведений аналіз і характеристику букових лісів Криму, моделювання ходу росту бучняків доцільно здійснювати саме для змішаних – за складом, простих – за формою,

насінневих – за походженням і різновікових – за віковою структурою деревостанів IV – II бонітетів у типах лісу свіжих суббучин (С₂-гБк, С₂-д-гБк) і свіжих бучин (D₂-гБк, D₂-д-гБк).

Свіжі суббучини сформовані на спадистих, стрімких схилах на висоті 450 – 1150 м над рівнем моря (північної експозиції) і на 700 – 1150 м (південної експозиції). Ґрунти бурі та світло-бурі гірсько-лісові, буроземно-перегнійно-карбонатні малопотужні середньоскелетні та середньопотужні сильноскелетні (потужність ґрунтів – 30 – 60 см, скелетність – 30 – 60 %) [17]. Продуктивність бучняків у цьому едатопі – IV – III класи бонітету. У складі деревостану домінує бук із домішкою граба кавказького (*Carpinus caucasica* Grossh.), дуба скельного (*Quercus petraea* Liebl.), клена польового (*Acer campestre* L.) й осики (*Populus tremula* L), інколи трапляються берека (*Sorbus torminalis* Crantz) і тис ягідний (*Taxus baccata* L.).

Свіжі бучини приурочена до лощин, пологих і покатих північних схилів на висоті 500 – 1100 м над рівнем моря, на південних схилах – в межах 600 – 1200 м. Ґрунти темно-бурі й бурі гірсько-лісові середньопотужні та потужні (60 – 120 см) слабкої або середньої скелетності (10 – 40 %) [17]. Бук тут утворює як чисті, так і змішані деревостани III – II бонітетів. Супутниками є ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), дуб скельний, граб кавказький, клен Стевена (*A. stevenii* Rojark.), липа дрібнолиста (*Tilia cordata* Mill.), черешня (*Cerasus avium* L.).

Аналіз усередненого складу букових лісів дав змогу виявити залежність співвідношення основних порід від віку (рис. 1).

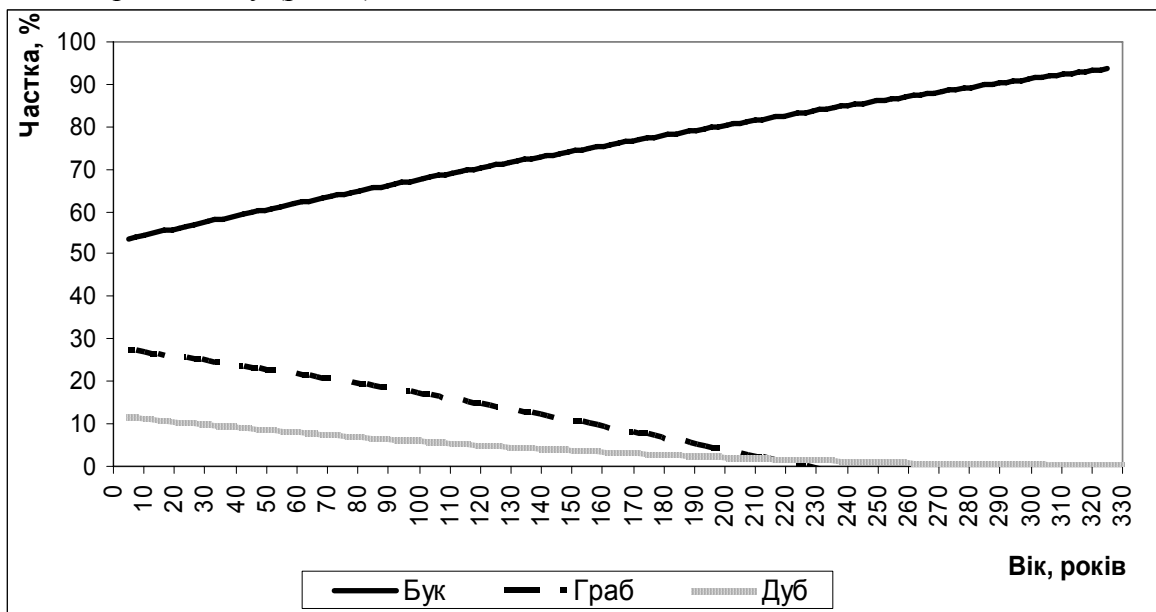


Рис. 1 – Зміна складу модальних букових деревостанів із віком (бук – $y = -9E^{-05} A^2 + 0,156 A + 52,9$; $r = 0,896$; граб – $y = -0,0001 A^2 - 0,094 A + 27,7$; $r = 0,797$; дуб – $y = -0,0001 A^2 - 0,07 A + 12,0$; $r = 0,857$)

Як видно з рис. 1, частка бука у молодняках становить 5 – 6 одиниць. Із віком відбувається поступове її збільшення, і вже у загальному запасі стиглих та перестійних деревостанів частка бука становить 75 – 100 %. Частка менш довговічних порід, таких як граб, поступово зменшується у складі, а при досягненні певного віку зовсім випадають із складу, причому залишаються породи із вищим віком природної стиглості.

Статистичний аналіз букових таксаційних виділів за основними параметрами у розрізі переважаючих типів лісу наведено у табл. 1. Результати обробки свідчать про широкий діапазон розсіювання у лісотипологічних сукупностях таких показників, як діаметр, кількість дерев, сума площ перерізу та запас на одиниці площі ($V = 22,0 - 79,6 \%$), що пояснюється значною неоднорідністю вікової структури букових деревостанів Криму. Іншим таксаційним параметрам (H , B та P) властивий менший розмах варіації, вони характеризуються середніми значеннями мінливості ознак ($V = 12,0 - 18,8 \%$).

Пробні площі було закладено на території Кримського природного заповідника, ДП "Білогірське ЛГ", ДП "Алуштинське ЛГ", ДП "Симферопольське ЛМГ" у букових деревостанах де частка супутніх порід у складі не перевищувала 2 – 3 одиниць в умовах С₂ та D₂. Розподіл їх загальної кількості за переважаючими типами лісу та бонітетами наведено у табл. 2.

За матеріалами лісовпорядкування в умовах свіжих бучин (D₂-гБк, D₂-д-гБк) на деревостани II і вище бонітетів припадає 29,6 % їх загальної площі, у С₂-гБк, С₂-д-гБк їх частка становить 11,6 %, за III класом бонітету ростуть 54,6 і 32,6 % деревостанів відповідно, за IV – 13,9 і 39,8 %, за V і нижчими класами бонітету – 1,9 % бучин і 16,0 % субучин. Порівняння дані табл. 2 з наведеним фактичним розподілом бучняків свідчить, що експериментальний матеріал у розрізі домінуючих типів лісу об'єктивно представляє існуюче співвідношення деревостанів за класами бонітету.

Таблиця 1

**Статистична характеристика таксаційних показників букових деревостанів Криму
(за матеріалами повидільної бази даних)**

Показники	Значення			Стандартне відхилення (σ)	Коефіцієнт варіації (V), %	Ексцес (E)	Асиметрія (A)
	середнє (Хсер. ± m)	мінімальне (Хmin)	максимальне (Хmax)				
<i>С₂-гБк, С₂-д-гБк</i>							
А, років	137 ± 1,5	22	325	58,8	43,1	-0,424	0,585
N, шт. · га ⁻¹	360 ± 5,8	43	2686	231,6	64,3	0,349	-0,262
D, см	31,7 ± 0,2	6,8	68,0	9,8	30,9	-0,087	0,588
H, м	19,1 ± 0,1	4,4	32,0	3,5	18,5	0,268	-0,103
Бонітет	III,7 ± 0,03	Va	Ia	1,0	13,5	-0,163	-0,039
Повнота	0,66 ± 0,003	0,30	1,00	0,1	18,9	0,078	-0,418
G, м ² · га ⁻¹	22,1 ± 0,2	5,7	46,2	6,0	27,2	0,242	0,264
M, м ³ · га ⁻¹	207 ± 1,9	20	610	75,3	36,4	0,956	0,670
<i>D₂-гБк, D₂-д-гБк</i>							
А, років	135 ± 1,6	17	300	63,5	48,9	-0,100	0,997
N, шт. · га ⁻¹	448 ± 9,2	36	9045	356,8	79,6	1,656	-0,411
D, см	32,1 ± 0,3	4,0	80,0	10,7	33,2	0,354	0,866
H, м	21,7 ± 0,1	5,0	35,0	3,3	15,0	1,137	-0,209
Бонітет	II,9 ± 0,02	Va	Ia	0,8	12,0	0,709	0,052
Повнота	0,74 ± 0,003	0,30	1,00	0,1	16,2	1,592	-0,997
G, м ² · га ⁻¹	26,9 ± 0,2	5,3	43,9	5,9	22,0	-0,006	-0,164
M, м ³ · га ⁻¹	273 ± 2,0	24	570	77,5	28,4	0,134	0,253

Таблиця 2

Розподіл пробних площ за типами лісу і бонітетами

Типи лісу	Бонітет				Усього
	II і вищі	III	IV	V і нижчі	
С ₂ -гБк, С ₂ -д-гБк	3	13	12	1	29
D ₂ -гБк, D ₂ -д-гБк	9	7	1	-	17
Усього	12	20	13	1	46

Згідно з результатами статистичної обробки даних, одержаних на пробних площах (табл. 3), віковий діапазон досліджуваних деревостанів становить від 22 до 310 років, тобто повністю охоплює групи віку від молодняків до перестійних лісостанів. Розмах таких показників, як D, H, B, N, G та M доволі значний і також адекватно репрезентує букові деревостани.

Загалом зібраний експериментальний матеріал відображає той стан лісів, в якому нині знаходяться букові деревостани Криму, а його обсяг дає змогу на належному рівні розв'язати поставлені завдання досліджень.

Для розробки математичних моделей росту й продуктивності букових деревостанів важливим є аналіз кореляційного зв'язку між їхніми таксаційними показниками, які були

обраховані для кожного класу віку в розрізі груп типів лісу як середньозважені через площу виділів. Напрям і тісноту зв'язків між таксаційними параметрами перевіряли за коефіцієнтами кореляції (табл. 4), які допомагають визначитися у підборі аргументів при визначенні регресійних моделей [9, 10].

Таблиця 3

Статистична характеристика таксаційних показників пробних площ

Таксаційні показники	Значення			σ
	Xсер. ± m	Xmin	Xmax	
A, років	130 ± 8,2	22	310	60,4
D, см	29,5 ± 1,6	4,6	57,0	11,7
H, м	20,7 ± 0,7	6,4	28,5	5,1
Бонітет	III ± 0,2	V	II	1,0
G, м ² ·га ⁻¹	30,3 ± 1,6	2,5	51,2	12,5
M, м ³ ·га ⁻¹	331 ± 18,3	14	568	142,1
N, шт.·га ⁻¹	688 ± 94,1	48	4223	728,8

Таблиця 4

Кореляційна матриця таксаційних показників букових деревостанів у С₂-д-гБк, С₂-гБк (темний фон) та D₂-гБк, D₂-д-гБк (світліший фон)

Таксаційні показники	A, років	D, см	H, м	N, шт.	G, м ² ·га ⁻¹	Повнота	M, м ³ ·га ⁻¹
A, років	1	0,981	0,831	-0,495	0,336	-0,824	0,626
D, см	0,970	1	0,892	-0,611	0,422	-0,792	0,695
H, м	0,807	0,850	1	-0,852	0,727	-0,523	0,904
N, шт.	-0,657	-0,781	-0,819	1	-0,707	0,198	-0,771
G, м ² ·га ⁻¹	0,747	0,746	0,922	-0,680	1	0,120	0,941
Повнота	-0,774	-0,647	-0,523	-0,055	0,549	1	-0,201
M, м ³ ·га ⁻¹	0,773	0,754	0,924	-0,605	0,982	0,529	1

Згідно з даними табл. 4, середній діаметр, середня висота, вік, сума площ перерізу на 1 га та запас на 1 га характеризуються додатнім і тісним зв'язком. Між повнотою та віком виявлено суттєву кореляцію (зменшення повноти з віком), що обумовлює наявність зворотного значущого зв'язку між повнотою й висотою, повнотою й діаметром.

Основним таксаційним показником для встановлення ходу росту вважається середня висота деревостану, оскільки з нею пов'язані решта параметрів деревостану, вона має меншу варіацію, ніж середній діаметр, кількість стовбурів, сума площ перерізу чи запас. Деякі автори [2, 9, 16] стверджують, що точнішим показником є верхня висота деревостану. Значення останньої стабільніші, ніж середня висота, мають ще меншу варіацію та майже не залежать від режиму формування деревостанів. Зв'язок верхньої висоти із середньою дуже тісний, тому перехід здійснюється без втрати точності даних [9, 21]. Однак, у зв'язку з тим, що у широкій лісотаксаційній практиці верхню висоту деревостану використовують мало, моделювання проведено нами за середньою висотою деревостану. Статичність загальної бонітетної шкали не дає можливості побудови природних рядів розвитку [5], тому із шкали М. М. Орлова було взято лише висоту бучняків у базовому віці, і на її основі створено динамічну бонітетну шкалу, яка характеризує особливості росту букових деревостанів. При цьому застосовували методіку розрахунку відносних висот за даними ходу росту модельних дерев з урахуванням пропозицій щодо її моделювання [2, 9, 16, 19 – 22]. В результаті за основу взято функцію Мітчерліха, яка має широке застосування для моделювання процесів росту [9, 16]. Зважаючи на опубліковані дані [4, 24], лісовпорядні нормативи та результати власних досліджень, за базову висоту (H^{БАЗ}) для букових деревостанів Криму було вирішено взяти її значення у віці 120 років. Під час вивчення ходу росту модельних дерев аналітичним методом встановлено, що тип росту бука за висотою в різних типах лісу суттєво не відрізняється. Деревина характеризується уповільненим ростом у молодому віці і помірним у наступні роки. Після багатоваріантного пошуку моделей для апроксимації середньої висоти букових деревостанів підібрано таку функцію:

$$H = 1,144 \cdot (1 - e^{-0,02 \cdot A})^{1,413} \cdot H_{120}^{BA3}, \quad r = 0,953, \quad (1)$$

де H – середня висота букових деревостанів, м;

A – середній вік деревостанів, років;

H_{120}^{BA3} – середня висота деревостанів у базовому віці 120 років.

Коефіцієнт кореляції наведеного рівняння знаходиться в межах 0,9 – 1,0, що свідчить про дуже високий рівень достовірності. Підставивши у модель (1) замість базової висоти значення середніх висот, узятих із загальнобонітетної шкали у 120-річному віці, отримали динамічну шкалу букових деревостанів Криму за переважаючими класами (II, III, IV) бонітетів (рис. 2).

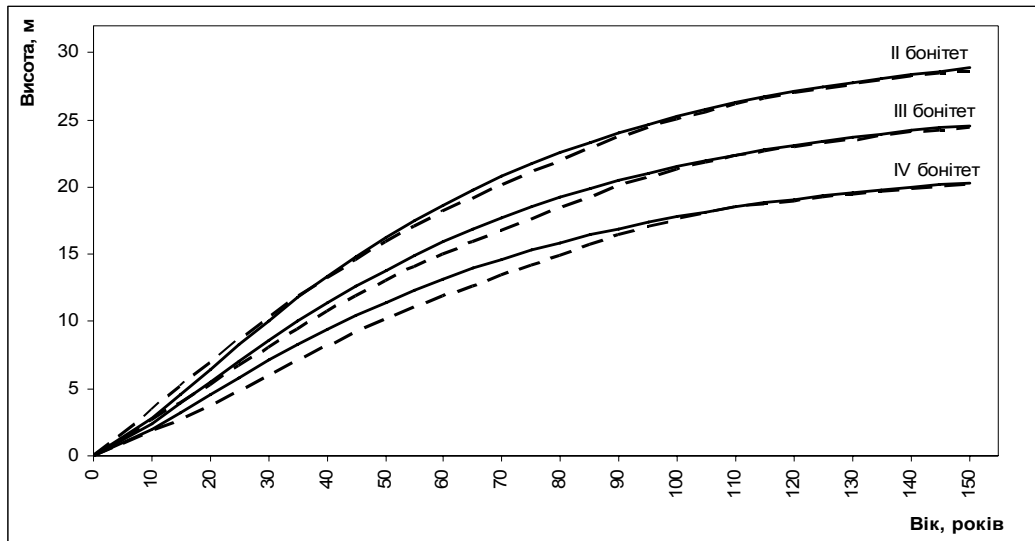


Рис. 2 – Порівняння значень середніх висот динамічної бонітетної шкали для модальних букових деревостанів Криму (суцільні лінії) із даними загальнобонітетної шкали М. М. Орлова (пунктирні лінії)

Зважаючи на дані рис. 2, можна констатувати, що у деревостанах IV і III бонітету до 110-річного віку середні значення змодельованих висот кримського бука перевищують відповідні значення середніх висот шкали М. М. Орлова, а у деревостанах II бонітету до 40 років середні висоти кримського бука є меншими (в середньому на 16,7 %) порівняно із значеннями загальнобонітетної шкали і більшими після зазначеного віку (в середньому на 1,7 %).

Відсутність вагомих протиріч побудованої шкали із "класичною" та високий рівень апроксимації рівняння (1) дають змогу застосовувати її при групуванні експериментального матеріалу, аналізі та моделюванні ходу росту букових деревостанів Криму.

Наступним таксаційним показником, який моделювали, був середній діаметр, динаміку якого встановлювали за типами лісу бучин (D_2 -гБк, D_2 -д-гБк) і субучин (C_2 -гБк, C_2 -д-гБк). Статистично достовірно на його значення впливають вік і висота деревостану, тому в аллометричній функції застосовано залежність співвідношення (D/H) від віку, яке у спеціальній літературі [5] має ще назву ступінь "нормальності" лісових насаджень:

$$D^C/H = 0,286 \cdot \ln(A) - 0,097, \quad r = 0,956; \quad (2)$$

$$D^B/H = 0,29 \cdot \ln(A) - 0,064, \quad r = 0,949, \quad (3)$$

де D^C – середній діаметр деревостанів у типах лісу свіжої субучини, см;

D^B – середній діаметр деревостанів у типах лісу свіжої бучини, см.

Аналіз динаміки відносної повноти свідчить, що з віком відбувається поступове зменшення її значення. Цей процес в умовах свіжих субучин і бучин описує поліном другого порядку:

$$P^C = - 6E^{-07} \cdot A^2 - 6E^{-05} A + 0,704; r = 0,659; \quad (4)$$

$$P^B = - 2E^{-06} A^2 - 6E^{-06} A + 0,790; r = 0,740, \quad (5)$$

де P^C – відносна повнота деревостанів у типах лісу свіжої суббучини;

P^B – відносна повнота деревостанів у типах лісу свіжої бучини.

Найвагоміший вплив на величину G має значення середньої висоти деревостанів, що підтверджується у лісотаксаційній літературі [2, 9]. Для апроксимації суми площ перерізу модальних бучняків було випробувано багато типів ростових рівнянь, однак у кінцевому результаті за основу було прийнято функцію Томазіуса:

$$G^C = 47,1 \cdot (1 - e^{-0,038 \cdot (H-1,3)}) \cdot (1 - e^{-23,1 \cdot (H-1,3)}), r = 0,954; \quad (6)$$

$$G^B = 45,2 \cdot (1 - e^{-0,044 \cdot (H-1,3)}) \cdot (1 - e^{-10,9 \cdot (H-1,3)}), r = 0,928, \quad (7)$$

де G^C – сума площ перерізу у типах лісу свіжої суббучини, $m^2 \cdot га^{-1}$;

G^B – сума площ перерізу у типах лісу свіжої бучини, $m^2 \cdot га^{-1}$.

Для встановлення залежності від віку показників частини деревостану, що вирубується, моделювали редуційні числа середнього діаметра (R_D) та середньої висоти (R_H) деревостанів бука. Для свіжих суббучин (C_2 -гБк, C_2 -д-гБк) підібрані такі функції:

$$R_D^C = 0,088 \cdot \ln(A) + 0,256; r = 0,706; \quad (8)$$

$$R_H^C = -1E - 06 \cdot A^2 + 0,0008 \cdot A + 0,72; r = 0,752. \quad (9)$$

Відповідно для свіжих бучин (D_2 -д-гБк, D_2 -гБк):

$$R_D^B = 0,062 \cdot \ln(A) + 0,356; r = 0,663; \quad (10)$$

$$R_H^B = -1E - 06 \cdot A^2 + 0,006 \cdot A + 0,675; r = 0,571. \quad (11)$$

Решту параметрів продуктивності та кількість стовбурів для деревостанів основної частини і частини, що вирубується, визначали за "класичними" формулами лісової таксації [1].

Побудовані моделі та встановлені математичні співвідношення були використані для формування загальних таблиць ходу росту для модальних букових деревостанів Криму (фрагмент ТХР подано у табл. 5). Підібрані функції недостатньо адекватно характеризують деревостани віком до 20 років, що пов'язане із статистично недостатнім представництвом у Криму бучняків цієї вікової категорії.

Таблиця 5

Хід росту модальних букових деревостанів Криму (свіжа бучина, бонітет II, $H_{120}^{Б43} = 27,1$ м)

Вік, років	Деревостан							
	середня висота, м	середній діаметр, см	кількість стовбурів, шт.	сума площ перерізу, $m^2 \cdot га^{-1}$	видове число	запас, $m^3 \cdot га^{-1}$	зміна запасу, $m^3 \cdot га^{-1}$	
							середня	поточна
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	2,8	1,7	12883	2,8	0,832	7	0,7	-
15	4,6	3,3	7064	6,1	0,721	20	1,4	2,7
20	6,5	5,2	4323	9,2	0,654	39	1,9	3,7
25	8,3	7,2	2930	12,0	0,609	61	2,4	4,3
30	10,1	9,3	2136	14,5	0,577	84	2,8	4,7
35	11,8	11,4	1642	16,7	0,552	108	3,1	4,8
40	13,3	13,4	1314	18,6	0,532	132	3,3	4,8
45	14,8	15,4	1085	20,3	0,517	155	3,5	4,7
50	16,2	17,4	919	21,8	0,504	178	3,6	4,5

Продовження табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	17,5	19,2	794	23,0	0,493	199	3,6	4,2
60	18,7	21,0	698	24,2	0,484	218	3,6	3,9
65	19,8	22,7	623	25,2	0,476	237	3,6	3,7
70	20,8	24,3	562	26,0	0,469	254	3,6	3,4
75	21,7	25,8	513	26,8	0,464	269	3,6	3,1
80	22,5	27,2	472	27,4	0,459	284	3,5	2,9
85	23,3	28,5	438	28,0	0,454	297	3,5	2,6
90	24,0	29,8	409	28,6	0,450	309	3,4	2,4
95	24,7	31,0	385	29,0	0,447	320	3,4	2,2
100	25,2	32,1	364	29,4	0,444	330	3,3	2,0
105	25,8	33,1	346	29,8	0,441	339	3,2	1,8
110	26,3	34,1	330	30,1	0,439	347	3,2	1,7
115	26,7	35,0	316	30,4	0,437	355	3,1	1,5
120	27,1	35,9	303	30,7	0,435	362	3,0	1,4

Продовження табл. 5

Вік, років	Частина, що вирубується				Загальна продуктивність, м ³ ·га ⁻¹	Загальний приріст, м ³ ·га ⁻¹	
	середня висота, м	середній діаметр, см	Кількість стовбурів, шт.	запас, м ³ ·га ⁻¹		середній	поточний
1	10	11	12	13	14	15	16
10	-	-	-	-	7	0,7	-
15	3,1	1,7	5819	3	36	2,4	5,9
20	4,4	2,8	2741	6	60	3,0	4,8
25	5,7	4,0	1393	7	89	3,6	5,7
30	7,0	5,3	794	8	120	4,0	6,2
35	8,2	6,6	494	8	153	4,4	6,5
40	9,3	7,8	328	9	185	4,6	6,5
45	10,4	9,1	229	9	217	4,8	6,4
50	11,5	10,4	166	9	249	5,0	6,3
55	12,4	11,6	125	9	279	5,1	6,0
60	13,4	12,8	96	9	307	5,1	5,7
65	14,2	13,9	76	9	334	5,1	5,4
70	15,0	15,0	61	8	359	5,1	5,1
75	15,7	16,1	49	8	383	5,1	4,7
80	16,4	17,1	41	8	405	5,1	4,4
85	17,1	18,0	34	7	426	5,0	4,1
90	17,7	18,9	29	7	445	4,9	3,8
95	18,3	19,8	25	7	462	4,9	3,5
100	18,8	20,6	21	6	479	4,8	3,3
105	19,3	21,4	18	6	494	4,7	3,0
110	19,8	22,1	16	6	508	4,6	2,8
115	20,2	22,8	14	5	521	4,5	2,6
120	20,6	23,4	12	5	533	4,4	2,4

Порівняльний аналіз розроблених нормативів здійснювали аналітичним і графічним методами шляхом зіставлення їх основних таксаційних характеристик з аналогічними, що розміщені у таблицях ходу росту букових деревостанів Карпат [13] для 10–120-річних деревостанів II бонітету. У результаті аналізу продуктивності модальних бучняків Криму і повних деревостанів Карпат встановлено, що значення середньої висоти, суми площ перерізу та запасу кримських деревостанів (без урахування частини, що вирубується) є меншими порівняно з карпатськими на 1,4, 25,2 та 23,2 % відповідно. Середній і поточний прирости також менші на 23,7 і 18,3 %. Деяка інша ситуація спостерігається при зіставленні значень діаметра. Середнє його значення для бука кримського перевищує на 17,4 % аналогічний показник для бука європейського, що пояснюється переважно розбіжністю відносної

повноти, оскільки її значення у віковому діапазоні від 10 до 120 років для модальних деревостанів свіжої бучини Криму становить 0,73 – 0,89.

Висновки. До цього часу були практично відсутні нормативно-довідкові дані, які б адекватно характеризували деревостани однієї з головних лісоутворювальних порід Кримського півострова – *Fagus taurica* Popl.

Нині букові ліси Криму переважно представлені різновіковими насінневими, змішаними за складом і простими за формою деревостанами IV – II класів бонітету, що зростають у С₂-гБк, С₂-д-гБк, D₂-гБк та D₂-д-гБк. В межах едатопу їх діагностичні ознаки суттєво не відрізняються, тому об'єднання деревостанів бука доцільно здійснювати за типами лісу свіжих бучин (D₂-гБк, D₂-д-гБк) і субучин (С₂-гБк, С₂-д-гБк).

За показниками динаміки змодельованих висот виявлено, що кримський бук характеризується уповільненим ростом у молодому віці і помірним у наступні роки. Ріст за висотою відбувається практично у межах одного класу бонітету загальнобонітетної шкали, але при цьому відрізняється від значень висот у існуючих таблицях ходу росту для букових деревостанів Карпат.

Установлені нами математичні моделі росту основних таксаційних показників, визначені співвідношення та складені на їх основі ТХР для модальних деревостанів доволі повно характеризують бучняки Криму. Застосування результатів досліджень надасть можливість об'єктивно оцінювати сучасний стан лісів, прогнозувати їх зміни, коректно планувати та здійснювати господарські заходи, які максимально враховуватимуть регіональні особливості формування букових деревостанів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Анучин Н. П.* Лесная таксация / Н. П. Анучин. — М. : Лесн. пром-сть, 1982. — 552 с.
2. *Багинский В. Ф.* Бонитетные шкалы по верхней высоте для основных лесообразующих пород Западного региона Европейской части СССР / В. Ф. Багинский // Формирование высокопродуктивных насаждений Беларуси. — Минск : Полымя, 1980. — С. 67 – 80.
3. *Воробьев Д. В.* Методика лесотипологических исследований / Д. В. Воробьев. — К. : Урожай, 1967. — 388 с.
4. *Гірс О. А.* Оптимальний вік головної рубки основних лісоутворюючих порід України та його обґрунтування / О. А. Гірс // Лісівництво і агролісомеліорація. — 2002. — № 101. — С. 108 – 114.
5. *Загребев В. В.* Географические закономерности роста и продуктивности древостоев / В. В. Загребев. — М. : Лесн. пром-сть, 1978. — 237 с.
6. Каталог прикладного програмного забезпечення, орієнтованого на обробку лісовпорядної інформації засобами ПЕОМ класу ІВМ РС (Розробки Партії алгоритмізації і програмування 1994 – 2000 рр.). — К. : Державний комітет лісового господарства України, 2000. — 26 с.
7. *Козловский В. Б.* Ход роста лесообразующих пород СССР / В. Б. Козловский, В. М. Павлов. — М. : Лесн. пром-сть, 1967. — 327 с.
8. Концепція реформування та розвитку лісового господарства / Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 квітня 2006 р. № 208-р. — 5 с.
9. *Лакида П. І.* Біологічна продуктивність дубових деревостанів Поділля. Монографія / П. І. Лакида, А. Г. Лащенко, М. М. Лащенко — К. : ННЦ ІАЕ, 2006. — 196 с.
10. Математическая статистика / [В. М. Иванова, В. Н. Калинина, Л. А. Нешумова и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая шк. — 1981. — 371 с.
11. *Миклуш С. І.* Моделирование роста насаждений за материалами повидільної бази даних. / С. І. Миклуш // Науковий вісник Нац. аграрн. ун-ту: Лісівництво. Декоративне садівництво. — 2007. — № 106. — С. 191 – 200.
12. *Никитин К. Е.* Методы и техника обработки лесоводственной информации / К. Е. Никитин, А. З. Швиденко — М. : Лесн. пром-сть, 1978. — 272 с.
13. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / Под. ред. А. З. Швиденко и др. — К. : Урожай, 1987. — 560 с.
14. *Остапенко Б. Ф.* Лісова типологія: навчальний посібник / Б. Ф. Остапенко, В. П. Ткач. — Х.: ХДАУ ім. В. В. Докучаєва, УкрНДЦЛГА ім. Г. М. Висоцького, 2002. — 204 с.
15. *Остапенко Б. Ф.* О группировке типов леса / Б. Ф. Остапенко // Науковий вісник Нац. аграрн. ун-ту: Лісівництво. — 1997. — № 39. — С. 22 – 30.
16. *Пастернак В. П.* Регулирование продуктивности искусственных ельников Карпат: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. с.-х. наук : спец. 06.03.02 "лесоустройство и лесная таксация" / В. П. Пастернак — К., 1990. — 20 с.

17. *Посохов П. П.* Типы лесов горного Крыма и их Кавказские аналоги: дис. на соискание уч. ст. д-ра с.-х. наук : 06.03.03 / П. П. Посохов. — Х., 1971. Том I — 409 с.
18. *Роговий В. І.* Особливості ходу росту букових деревостанів Криму та динаміка їх вікової структури / В. І. Роговий // Лісівництво і агролісомеліорація. — 2009. — № 114. — С. 85 – 89.
19. *Савич Ю. Н.* Особенности роста сосновых культур в свежих субориях Полесья и Лесостепи: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. с.-х. наук : спец. 06.03.02 "лесоустройство и лесная таксация" / Ю. Н. Савич. — К., 1965. — 22 с.
20. *Свалов Н. Н.* Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н. Н. Свалов. — М.: Лесн. пром-сть, 1979. — 216 с.
21. *Строчинский А. А.* Методическое и нормативно-информационное обеспечение системы регулирования продуктивности лесных насаждений на Украине: автореф. дис. в виде научн. докл. на соискание уч. степени д-ра с.-х. наук : спец. 06.03.02 «лесоустройство и лесная таксация» / А. А. Строчинский. — К., 1992. — 70 с.
22. *Теретьев А. Ю.* Моделювання ходу росту середньої висоти чистих і мішаних штучних насаджень сосни звичайної / А. Ю. Теретьев, О. П. Бала // Науковий вісник Нац. аграрн. ун-ту: Лісівництво. Декоративне садівництво. — 2007. — № 106. — С. 144 – 151.
23. *Ткач В. П.* Букові ліси Криму та перспектива їх природного відтворення / В. П. Ткач, В. І. Роговий // Лісівництво і агролісомеліорація. — 2008. — № 113. — С. 130 – 136.
24. *Ткач В. П.* Віки стиглості лісів України та шляхи удосконалення лісокористування / В. П. Ткач, В. П. Пастернак, І. Ф. Букша // Лісівництво і агролісомеліорація. — 2002. — № 101. — С. 98 – 104.
25. *Ткач В. П.* Заплавні ліси України / В. П. Ткач. — Х. : Право, 1999. — 368 с.

Tkach V. P., Rogovoy V. I., Pasternak V. P.

MODELING OF BEECH STANDS GROWTH IN CRIMEA

Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

An algorithm and mathematical models for assessment of modern condition and prognosis of modal beech stands growth in Crimea are demonstrated.

Key words: *F. taurica* Popl., growth, modal stands, forest type, taxation indices, productivity, mathematical models.

Ткач В. П., Роговой В. И., Пастернак В. П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДА РОСТА БУКОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ КРЫМА

Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого

Приведены алгоритм и математические модели для оценки существующего состояния и прогноза роста модальных буковых древостоев Крыма.

Ключевые слова: бук крымский (восточный), ход роста, модальные древостои, тип леса, таксационные показатели, продуктивность, математические модели.

Одержано редколегією 12.12.2008 р.