

лесных ресурсов.—М.: АН СССР, 1963.—484-с. [6]. Комин А. Финансы и цены // Коммунист.—1987.—№ 9.—С. 59—62. [7]. Мелехов И. С. Повышение продуктивности лесов — межотраслевая проблема // Лесн. журн.—1987.—№ 6.—С. 3—14.—(Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Нестеров В. Г. Леса будущего и их программное выращивание // Лесохозяйственная и лесомелиоративная наука в СССР.—М.: Лесн. пром-сть, 1967.—С. 153—174. [9]. Проблемы повышения продуктивности лесов. Т. 1 / Ин-т леса АН СССР.—М.; Л.: Гослесбумиздат, 1959.—148 с. [10]. Расчет размера лесопользования / С. Г. Синицын, Н. А. Моисеев, В. В. Загребев, Н. П. Анучин.—М.: Лесн. пром-сть, 1973.—176 с. [11]. Синицын С. Г., Синицын И. С. Экономические аспекты динамики породного состава лесов европейской части РСФСР // Лесн. журн.—1984.—№ 6.—С. 5—11.—(Изв. высш. учеб. заведений). [12]. Экономика лесного хозяйства СССР / П. В. Васильев, И. В. Воронин, Г. П. Мотовилов, Е. Я. Судачков.—М., 1965.—379 с. [13]. Янушко А. Д., Желиба Б. Н. Чистая продукция и эффективность лесного хозяйства // Лесн. журн.—1985.—№ 3.—С. 96—100.—(Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 16 февраля 1991 г.

УДК 630*56

БАЗИСНЫЙ ВОЗРАСТ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ДРЕВОСТОЕВ

А. Л. ГУТМАН, В. В. УСПЕНСКИЙ

Воронежский лесотехнический институт

В целях систематизации и стандартизации роста насаждений В. В. Загребев [3] и Н. И. Казимиров [4, 5] использовали нормирование таксационных показателей делением их на значение в некотором базисном возрасте, выбор которого (100 или 50 лет) был обусловлен удобством графических построений и вычислений.

Преимущества такого подхода существенно увеличиваются, если при выборе базисного возраста использовать биофизический анализ роста насаждения. В настоящей работе обосновывается выбор базисного возраста и на материале таблиц хода роста культур сосны предлагается математическая модель для нормирования кривых роста. Общие требования подхода к базисному возрасту-модулю следующие: биологическая значимость для жизни насаждения; достаточно узкая локализация по времени; возможность точного определения по результатам таксации насаждения.

В экологии при исследовании динамики численности популяций выделяют три фазы: пререпродуктивную, репродуктивную и пострепродуктивную [8]. В сообществе древесных растений переход от пререпродуктивной фазы к репродуктивной классифицируется как переход от формирования древостоя к его зрелости [6]. Это связано с достижением максимального прироста общей биомассы и началом последующего обильного плодоношения. По данным В. Г. Нестерова [7], возраст зрелости древостоя, связанный с перераспределением пластических веществ в репродуктивном направлении, для большинства древесных пород наступает в 20...60 лет. По классификации Н. Н. Свалова [9], это физиологическая спелость древостоя, для сосняков I класса бонитета равная 33 годам. На S-образной кривой роста ей соответствует точка перегиба. Таким образом, этот возраст хорошо локализован во времени. Вместе с тем для достаточно точного его определения по таблицам необходимо знать четыре значения в окрестности точки перегиба, что позволяет получить три последовательных значения прироста таксационного показателя. Анализ таблиц хода роста сосновых культур показал, что для верхней или средней высоты древостоя, обычно принимаемой в качестве ведущего признака, максимум текущего прироста наступает в возрасте 10...20 лет. Это существенно раньше

начала репродуктивной фазы, а поскольку большинство таблиц начинается с 20 лет, данных о точках, предшествующих точке перегиба, они не имеют. Поэтому в качестве ведущего таксационного показателя нами была принята общая продуктивность древостоя W . Этот показатель довольно стабилен, мало зависит от интенсивности промежуточного пользования, если оно не чрезмерно. Есть основания полагать, что максимум текущего прироста общей продуктивности древостоя достаточно близок к физиологической спелости — максимуму текущего прироста запаса и легко устанавливается по таблицам хода роста. Таким образом, принятый базисный возраст — это возраст максимального текущего прироста общей продуктивности τ .

Для определения эффективности стандартизации кривых роста при выбранном базисе были обработаны данные 30 таблиц хода роста культур сосны Iб—III классов бонитета, произрастающих в разных типах леса на территории европейской части СССР (БССР, УССР, в Центральном и Центрально-Черноземном районах РСФСР) и в ГДР.

Алгоритм и программа обработки на ЭВМ предусматривали: вычисление базисного возраста для каждой таблицы, нормирование возрастных периодов таблиц и таксационных показателей в единицах базисного возраста, анализ средних нормированных таксационных показателей как функции нормированного возраста (с шагом 0,2 базиса) для общей продуктивности. Значения вычисленных статистических характеристик полученного распределения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормированный возраст θ	\bar{x}	$V, \%$	$P, \%$	Нормированный возраст θ	\bar{x}	$V, \%$	$P, \%$
0,4	16,9	15,8	5,2	1,6	182,0	4,0	1,7
0,6	43,0	9,6	2,8	1,8	205,0	2,8	1,1
0,8	74,7	6,1	2,2	2,0	228,0	3,1	0,9
1,0	100,0	4,0	1,3	2,2	249,0	4,8	1,6
1,2	127,0	3,7	1,4	2,4	268,0	5,1	2,9
1,4	159,0	3,4	1,0	2,6	285,0	4,7	1,7

Из результатов статистической обработки можно сделать вывод, что средние значения x характеризуются малой изменчивостью: коэффициент вариации V , как правило, находится в интервале 3...10 % и лишь в крайней относительной ступени 0,4 увеличивается до 15,8 %. Средняя и низкая изменчивость относительных значений таксационных показателей обеспечивает их высокую точность P (1...5 %) при относительно малой выборке (30 таблиц хода роста).

Высокая точность и слабый разброс данных позволяют утверждать, что при отсутствии резких нарушений нормального роста (стихия, интенсивное изреживание) все многообразие линий развития и роста одной древесной породы по каждому таксационному показателю можно отразить одной S-образной кривой.

Представляют интерес аналитические выражения, аппроксимирующие стандартные кривые роста. Предпочтение следует отдать функциям, которые имеют простую структуру, четкий биофизический смысл входящих в них параметров и обеспечивают достаточную точность выравнивания стандартных кривых.

В наших работах [1, 2] для моделирования роста фитомассы древостоев и хода их роста в высоту использована функция

$$V = A \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha - \beta} e^{-\beta t} + \frac{\beta}{\alpha - \beta} e^{-\alpha t} \right), \quad (1)$$

где V — таксационный показатель;
 t — возраст максимальной продуктивности;
 A, α, β — параметры; их подробный биофизический смысл указан в работе [1].

Применительно к целям настоящей работы биофизический смысл параметров сводится к следующему: $1/\alpha$ — характерное время* выхода древостоя на максимальный прирост; $1/\beta$ — характерное время его выхода на значение параметра A .

Из уравнения (1) найдем стандартную кривую в выбранном базисном возрасте. Базисный возраст получим, приравняв нулю вторую производную $V''(t)$:

$$\frac{\alpha\beta}{\alpha-\beta} (\alpha e^{-\alpha t} - \beta e^{-\beta t}) \Big|_{t=\tau} = 0, \quad (2)$$

отсюда

$$\tau = \frac{1}{\alpha - \beta} \ln \frac{\alpha}{\beta}.$$

Нормированный возраст с этим базисом $\Theta = t/\tau$. Тогда выражение (1) как функция безразмерного возраста Θ принимает вид

$$V(\Theta) = A \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha - \beta} e^{-\frac{\beta}{\alpha - \beta} \ln \frac{\alpha}{\beta} \Theta} + \frac{\beta}{\alpha - \beta} e^{-\frac{\alpha}{\alpha - \beta} \ln \frac{\alpha}{\beta} \Theta} \right). \quad (3)$$

Нетрудно видеть, что при введении параметра $\gamma = \alpha/\beta$ функция $V(\Theta)$ становится функцией только двух параметров A и γ , а нормированная по отношению к значению в базисном возрасте $V(1)$ — функцией только одного параметра γ :

$$F = \frac{V(\Theta)}{V(1)} = \frac{1 - \frac{\gamma}{\gamma - 1} e^{-\frac{1}{\gamma - 1} \ln \gamma \Theta} + \frac{1}{\gamma - 1} e^{-\frac{\gamma}{\gamma - 1} \ln \gamma \Theta}}{1 - \frac{\gamma}{\gamma - 1} e^{-\frac{1}{\gamma - 1} \ln \gamma} + \frac{1}{\gamma - 1} e^{-\frac{\gamma}{\gamma - 1} \ln \gamma}}. \quad (4)$$

Параметр γ является отношением временных характеристик выхода насаждения на предельную фитомассу и максимальный прирост.

Точность выравнивания стандартной кривой роста с помощью функции (4) по методу наименьших квадратов для нелинейных функций определяли по наилучшему значению γ для стандартной кривой роста общей продуктивности W . Оно оказалось равным 4,30608, а соответствующая ему средняя квадратичная ошибка выравнивания табличных данных W составила (в единицах базисного значения) $\sigma_w = 0,02914$, или менее 3 %.

На рис. 1 представлена зависимость $W_t/W_\tau = f(\Theta)$ для культур сосны, где W_t, W_τ — значения общей продуктивности в возрасте соответственно t и τ . Из рисунка видно, что функция (4) достаточно точно моделирует стандартную кривую для общей продуктивности древостоя. Заметим, что у других стандартных кривых S-образной формы (высота, диаметр и др.) возраст перегиба не совпадает с принятым базисным возрастом. Поэтому для их моделирования функция (4) должна быть перенормирована. Подставляя $\gamma = 4,30608$ в (4), получаем

$$F(\Theta) = \frac{1 - 2,2195 e^{-0,7303\Theta} + 1,2195 e^{-1,3291\Theta}}{0,2535}. \quad (5)$$

* Характерным временем экспоненциального процесса называется время, за которое изучаемая величина изменяется в e раз.

Из сказанного следует, что соотношение (5) является общей закономерностью роста культур сосны.

Изложенные теоретические положения были проверены на практике на примере сосновых насаждений. Использованы таблицы хода роста культур сосны европейской части СССР Ia, II, IV классов бонитета. Предварительно графическим путем были установлены значения возрас-

Таблица 2

Возраст, лет	Нормированный возраст θ			Общая продуктивность										Отклонение, %				
	Ia	II	IV	относительная $F(\theta) \cdot 100$		расчетная $W, м^3$			фактическая $W, %$			Ia	II	IV	Ia	II	IV	
				Ia	II	IV	Ia	II	IV	Ia	II							IV
20	0,69	0,59	0,53	58	45	37	207	123	66	206	124	57	0,5	0,8	15,8			
30	1,03	0,88	0,79	105	84	71	375	229	125	375	235	120	0,0	2,6	4,2			
40	1,38	1,18	1,05	152	124	107	543	341	189	541	355	190	0,4	1,7	0,5			
50	1,72	1,47	1,32	195	163	143	696	448	252	679	461	258	2,5	2,8	2,3			
60	2,07	1,76	1,58	232	199	177	830	546	312	797	549	320	4,1	0,5	2,5			
70	2,41	2,06	1,84	264	231	208	944	633	366	897	625	375	4,8	1,3	2,4			
80	2,76	2,35	2,10	290	258	236	1038	708	415	986	694	424	5,3	2,0	2,6			
90	3,11	2,65	2,37	311	282	260	1115	773	457	1065	755	469	4,7	2,4	2,6			
100	3,45	2,94	2,63	329	302	281	1177	827	494	1135	810	508	3,7	2,1	2,8			
110	3,79	3,24	2,90	343	319	299	1227	872	526	1197	859	540	2,5	1,5	2,6			
120	4,14	3,53	3,16	354	332	314	1396	910	553	1254	901	569	1,0	1,0	2,8			

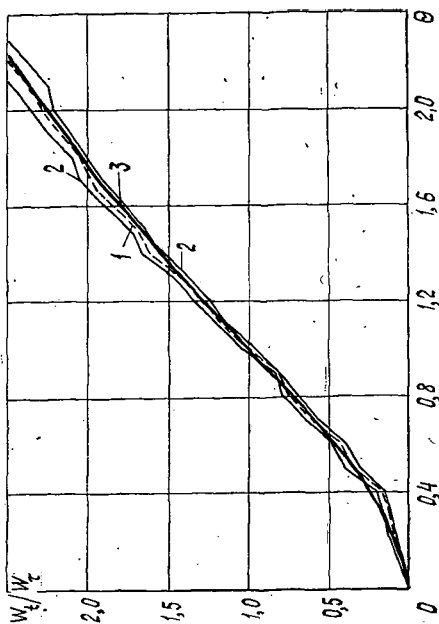


Рис. 1. Усредненная кривая роста по общей продуктивности в относительных показателях (1), границы средних квадратичных отклонений от средней (2) и выравненная кривая (3)

та максимального текущего прироста τ и общей продуктивности в этом возрасте W_τ . Для рассмотренных классов бонитета они составили соответственно 29, 34 и 38 лет, 358, 274 и 176 м³.

Последующие расчеты (табл. 2) показали, что рекомендуемое уравнение довольно точно отражало динамику фактической продуктивности древостоев, отклонения не превысили 6%, а в среднем составили 1...3%. Адекватность модели проверена на рис. 2, где линии развития всех трех классов бонитета выразились одной кривой.

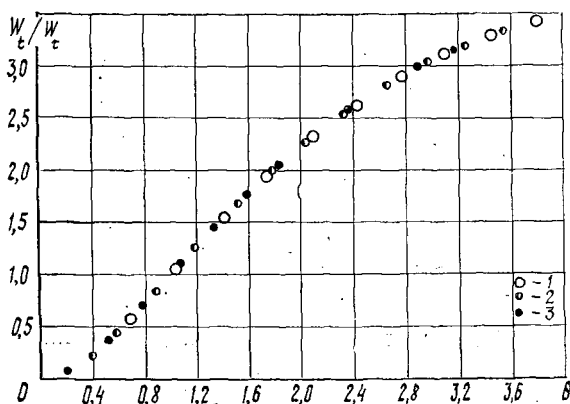


Рис. 2. Единая кривая роста общей продуктивности культур сосны разных классов бонитета: 1 — Ia; 2 — II; 3 — IV (V)

Есть основания полагать, что выражение (4) является общим законом роста древостоев различных пород, для которых показатель γ — существенная видовая постоянная. Это предположение должно стать предметом дальнейшего исследования для других древесных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Гутман А. Л., Гутман М. А. Модель роста древостоев и ее применение для выравнивания таксационных показателей // Лесн. журн.—1986.—№ 5.—С. 17—21.—(Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Гутман А. Л., Успенский В. В. Биофизические методы моделирования продуктивности древостоев // Закономерности роста и производительности древостоев.—Каунас, 1985.—С. 281—283. [3]. Загребев В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев.—М.: Лесн. пром-сть, 1978.—240 с. [4]. Казимиров Н. И. Проблемы и методические подходы в моделировании лесных биогеоценозов // Моделирование лесных биогеоценозов.—Петрозаводск, 1986.—С. 5—12. [5]. Казимиров Н. И., Горбунова Т. М., Дмитриева И. А. Математическая модель возрастной динамики таксационных показателей сосновых древостоев // Там же.—С. 105—123. [6]. Лархер В. Экология растений.—М.: Мир, 1978.—384 с. [7]. Нестеров В. Г. Общее лесоводство.—М.: Гослесбумиздат, 1954.—656 с. [8]. Одум Ю. Экология. Т. 2.—М.: Мир, 1986.—376 с. [9]. Свалов Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования.—М.: Лесн. пром-сть, 1979.—216 с.

Поступила 5 сентября 1990 г.

УДК 630*181.8

РАЗВИТИЕ И ПЛОДОНОШЕНИЕ БУКА ЛЕСНОГО В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЗА ПРЕДЕЛАМИ АРЕАЛА

В. К. МЯКУШКО, Х. АХМАД

Украинская сельскохозяйственная академия

Бук — одна из первых древесных пород, для которых было начато изучение закономерностей наступления семенных лет. В УССР интерес