

# ДИНАМИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПО ДИАМЕТРАМ В ГУСТЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ, ЕЛИ И КЕДРА

© 2005 г. В. А. Третьякова

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок

Поступила в редакцию 15.07.2004 г.

*Лесные культуры, сосна, ель, кедр, ряды распределения, функция Вейбулла.*

Известно, что строение древостоев в процессе их роста заметно меняется. Еще к 30-м годам прошлого столетия были установлены общие закономерности этих изменений. А.В. Тюрин [8] считал, что "насаждения разных пород, возрастов и бонитетов, но в пределах сравнимых групп - по средним диаметрам 10, 20, 30 и 40 см - обладают, несмотря на шероховатости в крайних ступенях, единством строения". По его мнению, подобное распределение должно быть дополнением к опытным таблицам хода роста, в которых содержатся данные о средних диаметрах и числе стволов на единицу площади. После перехода к распределениям по ступеням толщины запасов древесины и сортиментов выявленная закономерность строения насаждений позволяет широко использовать таблицы хода роста для определения возрастов спелости древостоев [2]. Распределение запаса по классам размеров, так же как и общий запас, необходимы как исходные данные для эффективного лесопользования.

В соответствии с задачами многоцелевого лесопользования, включающими поддержание гидроклиматических, противозерозионных и полезностных свойств леса, стало необходимым более детальное исследование характера изменения рядов распределения числа стволов по толщине и другим таксационным показателям. На строение древостоя оказывают влияние такие факторы, как густота, возрастная и пространственная структура древостоя [4, 6]. Динамика рядов распределения числа стволов по толщине обусловлена текущим приростом деревьев по диаметру, изменением их рангов в процессе прироста и отпадом части деревьев [3, 4].

Несмотря на значительное количество литературы, касающейся рядов распределения, результатов сравнения динамики рядов разных древесных пород, произрастающих в одинаковых природных условиях, опубликовано немного.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Для анализа динамики рядов распределения использованы материалы периодических наблюдений за лесными культурами сосны, ели, кедра в Емельяновском лесхозе Красноярского края на площади 1.7 га. Культуры высажены в 1971-1972 гг. 2-3-летними саженцами в загущенном состоянии. Площадь питания одного дерева составляла 0.25 м<sup>2</sup>.

Наблюдения за ростом и формированием древесных культур проводились с 1975 г. Для этой цели на участке были заложены постоянные и временные пробные площади. Под постоянные пробные площади отведено по 3 секции (по 100 м<sup>2</sup>) в культурах сосны и ели и 2 в культурах кедра. На момент первого исследования число деревьев на каждой секции варьировало от 350 до 400. В остальных секциях для выяснения влияния рубок ухода на рост культур в 15-20-летнем возрасте были выбраны все нечетные ряды.

На постоянных пробных площадях периодически определялись основные морфолого-таксационные показатели: высота, диаметр, линейный прирост по высоте, энергия роста древостоя.

В 2002 г. был проведен сплошной пересчет всех культур по 2-сантиметровым ступеням толщины. Таксационное описание контрольных секций приведено в табл. 1. В каждой секции у 15-20 деревьев, относящихся к разным ступеням толщины, измерялись высоты. Средний диаметр определял-

ся как средневзвешенный по площади сечения, средняя высота вычислялась на основе взаимосвязи высот и диаметров.

В работе использовались собранные за 27 лет наблюдений данные по 85 (сосна), 75 (ель) и 58 (кедр) рядам распределения числа стволов по толщине. Суммы накопленных частот ( $\sum n$ ) для этих рядов распределения выровнены с помощью функции распределения Вейбулла, принятой в качестве математической модели описания строения древостоев:

$$\sum n = B1(1 - \exp(-1(D/B2)^{B3})), \quad (1)$$

где  $D$  - диаметр дерева, см;  $B1$ ,  $B2$ ,  $B3$  - вычисляемые коэффициенты уравнения.

Р.З. Бейли [9], Х.Т. Шредер [10] одними из первых предложили использовать функцию Вейбулла в качестве модели распределения деревьев по диаметру. Х.Т. Шредер [10] показал возможность прогноза распределения числа деревьев по

**Таблица 1.** Таксационные показатели культур в возрасте 34 лет на контрольных секциях

Порода	№ секции	Высота, м	Диаметр на высоте груди, см	Число стволов, тыс. экз. га <sup>-1</sup>	Площадь сечения, м <sup>2</sup>	Запас, м <sup>3</sup>
Сосна	59	12.5	7.9	9.4	46.1	314
	62	11.7	7.8	10.9	52.1	294
	63	11.4	7.6	10.4	47.1	281
Ель	10	6.9	5.4	15.6	36.4	196
	20	6.6	5.4	17.2	39.4	193
	22	7.8	5.9	17.0	46.5	201
Кедр	122	8.0	6.7	10.8	38.1	169
	134	7.7	6.3	11.6	36.1	155

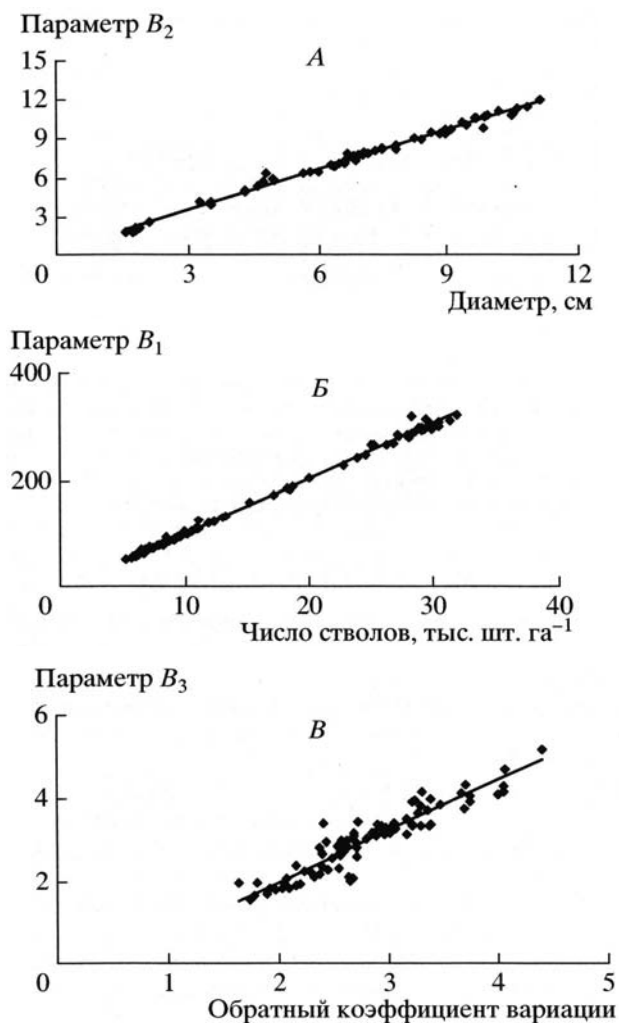


Рис. 1. Связь параметров распределения Вейбулла: А- $B_2$  со средним арифметическим диаметром, см; Б- $B_1$  с числом стволов на 1 га; В- $B_3$  с обратным коэффициентом вариации диаметров, %.

толщине на основе возраста, класса бонитета и числа деревьев на единицу площади. В дальнейшем на целесообразность использования функции Вейбулла для выравнивания рядов распределения указывали многие исследователи [1, 4, 7]. Особо подчеркнем возможность интерпретации параметров функции (1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе данных рядов распределения числа стволов по толщине были рассчитаны параметры функции распределения Вейбулла. В результате получена тесная связь между параметром  $B_1$  и числом стволов на 1 га,  $B_2$  и среднеарифметическим диаметром,  $B_3$  и коэффициентом вариации (С.В.) ряда распределений числа стволов по толщине (рис. 1). Таким образом, при анализе изменений параметров распределения Вейбулла их можно интерпретировать как изменения таксационных показателей древостоев. Уравнения для расчета коэффициентов представлены в табл. 2. Ее данные показывают, что коэффициент детерминации ( $R^2$ ) достаточно высок для оценки параметров  $B_1$  и  $B_2$  и несколько ниже для оценки параметра  $B_3$  в насаждениях всех пород.

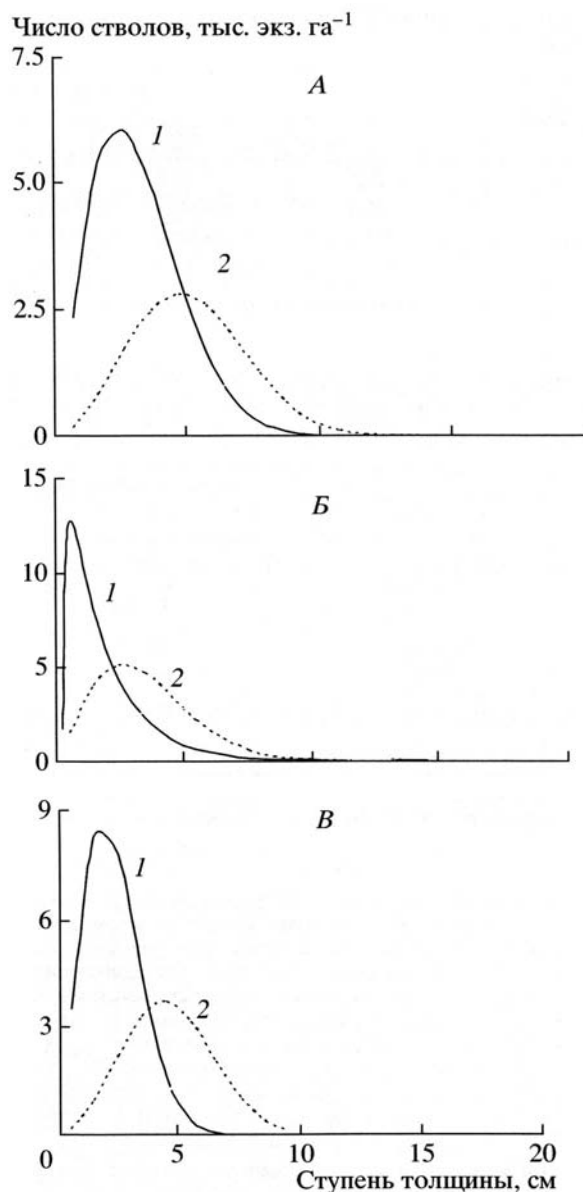


Рис. 2. Ряды распределения числа стволов по толщине в 15 (1), 25 (2) лет: А - сосна; Б - ель; В - кедр.

В табл. 3 представлены уравнения связи среднего арифметического диаметра и его коэффициента изменчивости с независимыми переменными, отобранные по наилучшему значению коэффициента детерминации ( $R^2$ ). Значение коэффициента детерминации в обоих случаях довольно высокое, что позволяет использовать для прогноза рядов распределения такие независимые переменные, как возраст (А), число стволов (N), среднее расстояние между деревьями (L).

Среднее расстояние между деревьями рассчитывали по формуле:

$$L = 10/\sqrt{N}, \quad (2)$$

где N - число деревьев на 0.01 га.

Сравнение выровненных рядов распределения для отдельных древесных пород показало, что динамика рядов распределения числа стволов по толщине сосны и кедр является сходной, хотя кедр из-за своих биологических особеннос-

**Таблица 2.** Связь коэффициентов уравнения Вейбулла с числом стволов, диаметром дерева, коэффициентом вариации

Порода	Параметры функции распределения Вейбулла					
	$B1$	$R^2$	$B2$	$R^2$	$B3$	$R^2$
Сосна	$1.020N$	0.997	$1.03D + 0.41$	0.992	$122/C.V.-0.43$	0.853
Ель	$0.998N$	0.996	$1.03D + 0.25$	0.984	$128/C.V.-0.48$	0.746
Кедр	$1.032N$	0.975	$0.97D + 0.45$	0.968	$126/C.V.-0.79$	0.863

Примечание.  $N$  - число стволов, тыс. экз. га<sup>-1</sup>,  $D$  - диаметр на высоте груди, см;  $C.V.$  - коэффициент вариации диаметров стволов;  $B1, B2, B3$  - коэффициенты уравнения Вейбулла;  $R^2$  - коэффициент детерминации.

**Таблица 3.** Уравнения для расчета диаметра на высоте груди и его коэффициента изменчивости

Порода	Диаметр на высоте груди, см	$R^2$	Коэффициент вариации диаметра, %	$R^2$
Сосна	$-7.46 + 1.64\sqrt{A} + 6.17L$	0.96	$-1.25 + 0.52\sqrt{A} + 1.12L$	0.79
Ель	$-6.93 + 1.58\sqrt{A} + 3.80L$	0.85	$-1.37 + 0.55\sqrt{A} + 0.65L$	0.75
Кедр	$-7.28 + 1.90\sqrt{A} + 3.340L$	0.92	$-3.78 - 0.002A^2 + 1.34\sqrt{A}$	0.76

Примечание.  $A$  - возраст, лет;  $L$  - среднее расстояние между деревьями, м;  $R^2$  - коэффициент детерминации.

тей несколько отстает от сосны (рис. 2, А, Б). При анализе рядов в культурах ели видно, что в 15-летнем возрасте основное число стволов относится к меньшим ступеням толщины (рис. 2, Б). Это объясняется большей теневыносливостью этой породы. В изучаемых нами культурах в возрасте 15 лет в основном завершается концентрация деревьев в небольших ступенях толщины. В низкогустотных культурах этот возраст является началом накопления тонкомера [2]. Аналогичные результаты динамики изменчивости диаметра с возрастом и густотой представлены в работах В.Я. Каплунова [2], В.В. Кузьмичева [5], С.Н. Свалова [7].

**Заключение.** Выявлено соответствие изменения параметра масштаба ( $B2$ ) изменению среднего диаметра дерева, т.е. прирост по диаметру отражается на динамике параметра масштаба. Найдена тесная корреляция параметра формы ( $B3$ ) с вариацией среднего диаметра. Предлагаемые уравнения позволяют достоверно предсказывать параметры функции Вейбулла для рядов распределения деревьев по диаметру и выявлять основные тенденции роста древостоев.

Взаимосвязи основных таксационных показателей древостоя с параметрами функций распределения дают возможность в любом возрасте определить форму ряда распределе-

ния. Использование уравнений позволит дополнить таблицы хода роста новыми сведениями. Динамика рядов распределения в культурах сосны и кедра сходна, в насаждениях ели протекает медленнее. По характеру рядов распределения стволов по толщине можно судить, что перегущенные культуры переходят в стадию жердняка быстрее, чем низкогустотные.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганина Н.В. Распределение деревьев по диаметру с помощью функции Вейбулла // Лесоведение. 1984. № 2. С. 17-19.
2. Каплунов В.Я. Прогнозирование строения древостоев по диаметру // Лесоведение. 1989. № 5. С. 68-73.
3. Каплунов В.Я., Кузьмичев В.В. Динамика рядов распределения числа стволов по толщине // Изв. СОАН СССР. Сер. биол. наук. 1987. Вып. 1. С. 70-77.
4. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 158 с.
5. Кузьмичев В.В., Савич Ю.Н. Влияние густоты на рост сосновых культур // Лесоведение. 1979. № 6. С. 56-62.
6. Макаренко А.А. О причинах динамики строения древостоев // Лесоведение. 1972. № 6. С. 13-19.
7. Свалов С.Н. Об оценке пригодности распределения Вейбулла для описания строения древостоев // Тр. Московского лесотех. ин-та. 1982. Вып. 139. С. 21-29.
8. Тюрин А.В. Нормальная производительность лесонасаждений сосны, березы, осины и ели. М.; Л.: Сельхозгиз, 1931. 362 с.
9. Bailey R.Z., Dell T.R. Quantifying diameter distributions with Weibull function // Forest Sci. 1973. V. 19. P. 97-104.
10. Schreuder H.T., Swank W.T. Coniferous stands characterized with the Weibull distribution // Canad. J. Forest Res. 1974. V. 4. P. 518-523.

## Dynamics of Tree Distribution by Diameter in Dense Pine, Spruce, and Siberian Stone Pine Plantations

V. A. Tret'yakova

Based on studying the dynamics with respect to the number of stems by height, a close correlation between the mean taxation indices and parameters of the Weibull function was revealed. Equalized series of distribution dynamics for pine, spruce, and Siberian stone pine were constructed. A comparative analysis was performed. The dynamics of pine and Siberian stone pine are close, although the development of Siberian pine lags behind due to its shade-tolerant ability.