

УДК 630*521

В. П. Машковский, кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент, заведующий кафедрой (БГТУ)

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВАРЬИРОВАНИЯ ДИАМЕТРОВ СТВОЛОВ В ЧИСТЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ

В статье приведены результаты анализа варьирования диаметров стволов в сосновых древостоях в зависимости от возраста и среднего диаметра насаждения. Отмечено увеличение степени варьирования диаметров деревьев, выраженных в абсолютных единицах, и уменьшение изменчивости диаметров, выраженных в относительных единицах. Проведен сравнительный анализ распределений по естественным (относительным) ступеням толщины диаметров деревьев в сосняках Беларуси. Показано, что ряды распределения, полученные для 3–6-го классов возраста, не имеют достоверных отличий между собой, но отличаются от рядов распределения, полученных для сосняков 1-го и 2-го классов возраста. Сформированы ряды распределения диаметров по естественным ступеням толщины для сосновых молодняков (1–2-й класс возраста), а также для древостоев 3–6-го классов возраста.

In article results of the diameters variation analysis of trunks in pine forest stands depending on age and from average diameter of planting are resulted. The increase of a trees diameters variation expressed in absolute units and reduction of variability of diameters expressed in relative units is noted. The comparative analysis of trees distributions on natural (relative) diameter classes in pine forests of Belarus is carried out. It is shown that the distribution rows received for 3-6 age classes, have no authentic differences among themselves, but authentically differ from the distribution rows received for pine forests of 1 and 2 age classes. Trees distribution rows on natural diameter classes for pine young stands (1-2 class of age), and also for forest stands of 3-6 classes of age are received.

Введение. Интерес к изменчивости диаметров в древостоях лесоводы проявляли давно. Характер варьирования стволов по диаметру в насаждении существенно сказывается на товарной структуре древостоев, что является важным с точки зрения потребления древесины. Кроме того, знание закономерностей строения насаждений по диаметру весьма полезно при таксации леса. Еще в 18 в. такие известные исследователи, как В. Вейзе и М. Вименауэр, анализировали местоположение среднего дерева в ранжированном ряду [1, с. 200]. Позднее были определены значения диаметров, делящие ранжированный ряд на отдельные части, как абсолютные (профессор Фекете), так и относительные (Шиффель) [2, с. 267–268]. Последние были названы редуцированными числами по диаметру. Переход к относительным значениям позволил выполнять совместный анализ древостоев, существенно отличающихся друг от друга по диаметрам. Полученные Шиффелем результаты в плане изучения строения древостоев были детально проанализированы и обобщены Н. В. Третьяковым [3]. Данные закономерности он назвал «законом единства в строении насаждений».

Другой подход, позволяющий изучать варьирование диаметров в древостоях, имеющих разные размеры деревьев, применил профессор А. В. Тюрин. Он анализировал распределения диаметров деревьев по «естественным ступеням толщины», то есть ступеням, выраженным

в долях среднего диаметра древостоя. Изучая различные насаждения, А. В. Тюрин показал, что характер распределения деревьев по естественным ступеням не зависит от породы, бонитета и полноты древостоя. Вместе с тем, он обнаружил некоторое влияние возраста насаждений на распределение деревьев, а также очень сильную зависимость строения древостоя по диаметру от характера рубок ухода за лесом [4]. Проанализировав значительное количество переречетов, профессор А. В. Тюрин обобщил данные и получил средние распределения деревьев по естественным ступеням для равномерно прореженных однородных насаждений в целом, а также для тонкомерных и среднемерных (средний диаметр до 25 см), крупномерных (средний диаметр более 25 см) насаждений. Результаты этих исследований вошли в учебники по таксации леса [5].

Для лесов Беларуси такие данные также имеются. Они были получены Белорусским научно-исследовательским институтом лесного хозяйства в процессе разработки товарных таблиц [6]. Позднее они вошли в состав Нормативных материалов для таксации леса Белорусской ССР, утвержденных приказом Гослесхоза СССР в 1982 г. [7]. Ступени толщины в данном случае были названы относительными, но суть дела от этого не изменилась. Ряды распределения числа стволов по диаметру были получены не в целом, как у профессора А. В. Тюрин, а для каждой породы в отдельности. Причем

полученные распределения в какой-то мере отличаются друг от друга, а это не совсем согласуется с мнением А. В. Тюрина о том, что характер распределения не зависит от породы. Полученные для Беларуси ряды распределения по относительным ступеням толщины характеризуют основные лесообразующие породы республики в целом, не отражая возрастных особенностей варьирования диаметров. Однако информация об этих особенностях может быть весьма полезна при таксации насаждений. В связи с этим целью данной статьи и является анализ возрастных особенностей варьирования диаметров деревьев в древостоях.

Объекты и методика исследований. Анализ варьирования диаметров деревьев проводился по данным таксации чистых или с небольшой примесью (до 2-х единиц) сосновых древостоев на 790 пробных площадях. Исследуемые насаждения представляли с 1-го по 6-й классы возраста (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение пробных площадей
по классам возраста**

Класс возраста	Число пробных площадей, шт.
1-й	23
2-й	61
3-й	203
4-й	262
5-й	215
6-й	26
Итого	790

Перечеты деревьев на пробных площадях обрабатывались следующим образом. Сначала вычислялись накопленные частоты, начиная от самых крупных ступеней толщины. Затем строилась математическая модель связи диаметров и накопленных частот с помощью методики интерполирования неубывающих последовательностей полиномами третьей степени, уже применявшейся ранее при актуализации лесного фонда по таблицам классов возраста [8]. Далее с помощью полученной модели вычислялись индивидуальные диаметры каждого дерева в древостое. Полученные диаметры группировались по естественным ступеням толщины. Границы естественных ступеней толщины вычислялись путем умножения среднего диаметра древостоя (среднеквадратического) на соответствующие коэффициенты. При формировании центральной ступени для нижней границы использовался коэффициент 0,95, а для верхней – 1,05. Коэффициенты для предшествующей или следующей ступени толщины вычислялись путем прибавления или вычитания 0,1. После определения гра-

ниц интервалов вычисленные диаметры всех деревьев в древостое распределялись по естественным ступеням толщины. Затем полученные частоты выражались в процентах. Сформированные таким образом перечеты группировались по классам возраста. Кроме того, обычные перечеты по 4-сантиметровым ступеням толщины группировались по 4-сантиметровым интервалам среднего диаметра. После группировки для каждой ступени толщины вычислялись средние арифметические значения частот. Усредненные ряды распределения числа стволов в процентах по естественным и абсолютным ступеням толщины преобразовывались таким образом, чтобы сумма частот каждого ряда составляла 1000 шт.

Для каждого полученного таким образом ряда вычислялись среднее арифметическое значение, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса.

При сравнении полученных рядов между собой для каждой сравниваемой пары эмпирических распределений выдвигалась нулевая гипотеза об их равенстве, которая проверялась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. При этом для каждой гипотезы вычислялась вероятность совершения ошибки первого рода (уровень значимости), то есть ситуации, когда мы отвергаем нулевую гипотезу в случае, когда она верна (различий между распределениями нет). Нулевая гипотеза отвергалась только в тех случаях, когда вычисленный уровень значимости был меньше, чем 0,05. В остальных случаях считалось, что ряды распределения не имеют между собой достоверных различий.

Результаты и их обсуждение. Статистические показатели распределения деревьев по диаметрам в сосновых лесах в зависимости от среднего диаметра приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Статистические показатели распределения
деревьев по диаметрам в сосновых древостоях
в зависимости от среднего диаметра**

Средний диаметр	Среднее арифметическое	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
4	4,260	2,39	56,1	0,485	1,642
8	7,644	3,26	42,7	0,342	-0,093
12	11,472	4,22	36,8	0,373	-0,021
16	15,456	4,85	31,4	0,400	0,143
20	19,220	5,50	28,6	0,291	-0,046
24	23,148	6,27	27,1	0,251	0,086
28	27,104	6,66	24,6	0,061	-0,204
32	30,780	7,44	24,2	0,141	0,078
36	34,816	7,88	22,6	0,034	-0,157

Как показывают расчеты, среднеквадратическое отклонение постоянно возрастает с увеличением среднего диаметра. Причем связь эта весьма сильная. Коэффициент корреляции $R = 0,996$. Это вполне естественная ситуация, обусловленная ростом древостоя, сопровождаемым дифференциацией деревьев по размерам. Однако изменчивость диаметров, выраженная в относительных единицах, при увеличении среднего диаметра падает. Об этом говорит уменьшение коэффициента вариации при увеличении среднего диаметра древостоя. Такую ситуацию можно объяснить тем, что в процессе роста древостоя не только идет процесс дифференциации деревьев по размерам, но и имеет место отпад отстающих в росте угнетенных экземпляров, что уменьшает размах вариации за счет выпадения наименьших ступеней толщины и перемещает местоположение среднего дерева в сторону более крупных экземпляров. С ростом среднего диаметра древостоя распределение становится более симметричным. Коэффициент асимметрии уменьшается ($R = -0,929$). Что касается коэффициента эксцесса, то связь этого показателя со средним диаметром древостоя не выражена ($R = -0,571$).

Статистические показатели, характеризующие распределение диаметров деревьев в сосновых древостоях по естественным ступеням толщины по классам возраста, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Статистические показатели ряда распределения деревьев по естественным ступеням толщины в сосновых древостоях по классам возраста

Класс возраста	Среднее арифметическое	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
1-й	0,923	0,373	40,4	0,296	-0,277
2-й	0,937	0,337	36,0	0,375	0,012
3-й	0,961	0,272	28,3	0,320	0,056
4-й	0,966	0,254	26,3	0,217	-0,046
5-й	0,969	0,246	25,4	0,172	0,013
6-й	0,964	0,262	27,2	0,113	-0,020

Полученные средние арифметические значения для всех классов возраста несколько ниже единицы. Это объясняется тем, что при формировании рядов распределения по естественным ступеням толщины использовались таксационные средние диаметры (среднеквадратические значения). Что касается степени варьирования диаметров, выраженных в относительных единицах, то она с возрастом снижается. Об этом говорит уменьшение величин и

среднеквадратического отклонения, и коэффициента вариации. Данная тенденция проявляется достаточно сильно. Так, для среднеквадратического отклонения величина коэффициента корреляции составляет $R = -0,872$. Однако эта связь имеет несколько нелинейный характер (рис. 1). С 1-го по 5-й класс возраста варьирование диаметров падает, а в 6-м – наблюдается некоторое увеличение варьирования диаметров. Как уже говорилось выше, уменьшение относительного разброса данных можно объяснить отпадом угнетенных деревьев из левой ветви ряда, что сокращает размах вариации, компенсируя ее рост за счет увеличения размеров деревьев.

В более старшем возрасте усиливается влияние случайных факторов на процесс отпада, а роль конкуренции деревьев за ресурсы среды уменьшается. В результате этого доля деревьев, отпадающих из центральных ступеней толщины, увеличивается, и уменьшение размаха вариации, вызванное отпадом наименьших ступеней толщины, не компенсирует увеличение вариации, обусловленное ростом размеров деревьев. Это влечет за собой увеличение статистик, характеризующих варьирование диаметров деревьев в древостое.

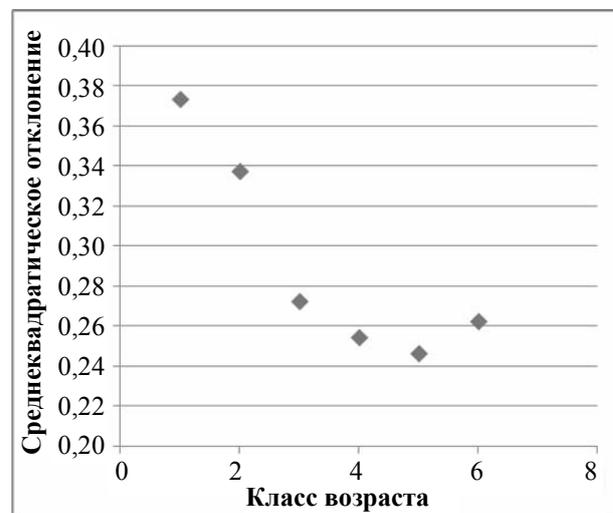


Рис. 1. Зависимость от возраста среднеквадратического отклонения для диаметров стволов в сосновых древостоях

С возрастом уменьшается не только вариация, но и асимметрия распределения диаметров (рис. 2). Связь величины коэффициента асимметрии с классом возраста довольно тесная ($R = -0,882$). Такую ситуацию также можно объяснить тем, что в отпад попадают в основном угнетенные деревья, имеющие небольшие размеры. Этот процесс ведет к смещению вершины распределения вправо, что уменьшает

асимметрию распределения. Что касается коэффициента эксцесса, то корреляция между ним и классом возраста незначительная ($R = 0,531$).

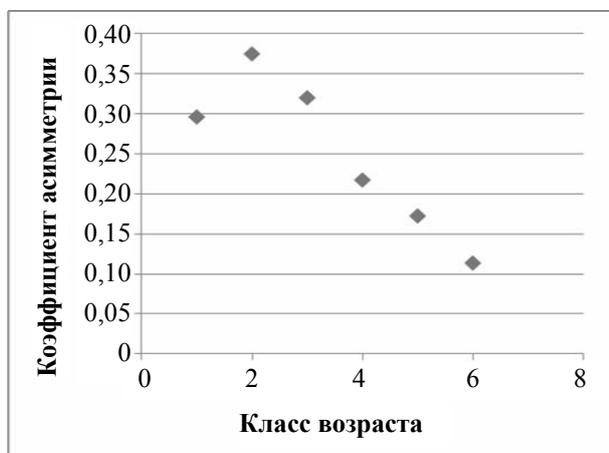


Рис. 2. Изменение асимметрии распределения диаметров стволов в сосновых древостоях с возрастом

Результаты сравнения рядов распределения деревьев по диаметрам в сосновых древостоях для разных классов возраста приведены в табл. 4. Как видно из данных этой таблицы, ряды распределения можно разделить на две части. В первую группу попадают распределения диаметров деревьев по естественным ступеням толщины для 1-го и 2-го классов возраста. Большие значения уровней значимости говорят о том, что между этими рядами нет достоверных различий. Вторую группу образуют ряды для 3–6-го классов возраста. Полученные при сравнении этих рядов уровни значимости больше, чем 0,05. Любая пара рядов, принадлежащих разным группам, имеет между собой достоверные различия (уровни значимости меньше 0,05).

Таблица 4

Уровни значимости для сравнения рядов распределения деревьев по диаметрам в сосновых древостоях с помощью критерия Колмогорова – Смирнова

Класс возраста	1	2	3	4	5	6
1-й	1	0,097	0,000	0,000	0,000	0,000
2-й	0,097	1	0,002	0,000	0,000	0,000
3-й	0,000	0,002	1	0,913	0,370	0,859
4-й	0,000	0,000	0,913	1	1,000	1,000
5-й	0,000	0,000	0,370	1,000	1	0,913
6-й	0,000	0,000	0,859	1,000	0,913	1

Результаты сравнения между собой рядов распределения позволяют сформировать два общих для каждой группы ряда.

Полученные ряды распределения сглаживались бета-функцией. Параметры оценивались методом максимального правдоподобия. Для каждого ряда с помощью критерия Пирсона χ^2 проверялась нулевая гипотеза, заключающаяся в том, что эмпирическое распределение подчиняется закону бета-распределения. Для всех рядов гипотеза была принята. Таким образом, все ряды распределения диаметров деревьев хорошо описываются этой функцией. Эмпирические и теоретические частоты (в процентах) рядов распределения диаметров по естественным ступеням толщины приведены в табл. 5.

Таблица 5

Ряды распределения диаметров стволов по естественным ступеням толщины (в процентах)

Ступень толщины	Частоты, %			
	1–2-й классы возраста		3–6-й классы возраста	
	экспериментальные	теоретические	экспериментальные	теоретические
0,1	0,1	0,2	0	
0,2	0,9	0,8	0	0
0,3	2,3	2,2	0,2	0,3
0,4	4,0	4,1	1,1	1,1
0,5	6,3	6,4	3,3	3,1
0,6	8,6	8,5	6,5	6,3
0,7	9,8	10,1	9,7	10,1
0,8	10,9	11,0	12,6	13,4
0,9	11,2	11,0	15,0	15,1
1,0	10,4	10,4	15,4	14,7
1,1	9,3	9,2	13,2	12,6
1,2	7,8	7,6	9,8	9,5
1,3	6,2	6,0	6,3	6,4
1,4	4,6	4,5	3,5	3,8
1,5	3,1	3,2	1,8	2,0
1,6	2,0	2,1	0,9	1,0
1,7	1,1	1,3	0,4	0,4
1,8	0,7	0,7	0,2	0,1
1,9	0,3	0,4	0,1	0,1
2,0	0,2	0,2	0	0
2,1	0,1	0,1	0	0
2,2	0,1	0,0	0	0

Размах вариации для ряда распределения, полученного для древостоев 3–6-го классов возраста, меньше, чем у ряда распределения для молодняков. Этот факт, наряду с динамикой среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации, свидетельствует о наличии тенденции к уменьшению с возрастом степени варьирования диаметров деревьев, выраженных в относительных единицах.

Интересно сравнить ряды распределения для древостоев 1–2-го и 3–6-го классов возраста с рядами распределения, полученными А. В. Тюриным и В. Ф. Багинским.

Таблица 6

Уровни значимости для сравнения рядов распределения по естественным ступеням разных авторов с помощью критерия Колмогорова – Смирнова

Ряды распределения		Классы возраста		По В. Ф. Багинскому	По М. В. Тюрину		
		1–2-й	3–6-й		средний диаметр до 25 см	средний диаметр более 25 см	все насаждения вместе
Классы возраста	1–2-й	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	3–6-й	0,000	1	1,000	0,466	0,000	0,013
По В. Ф. Багинскому		0,000	1,000	1	0,432	0,000	0,010
По М. В. Тюрину	средний диаметр до 25 см	0,000	0,466	0,432	1	0,001	0,078
	средний диаметр более 25 см	0,000	0,000	0,000	0,001	1	0,573
	все насаждения вместе	0,000	0,013	0,010	0,078	0,573	1

Анализ результатов показывает, что ряд распределения, полученный для древостоев 1–2-го классов возраста, отличается от рядов А. В. Тюрина и В. Ф. Багинского. Об этом говорят нулевые значения для уровней значимости, полученные при проверке соответствующих гипотез (табл. 6). Ряды распределения, полученные для древостоев 3–6-го классов возраста, ряд М. В. Тюрина для древостоев со средним диаметром до 25 см и ряд, полученный В. Ф. Багинским, образуют группу, в которой ряды не имеют между собой достоверных различий.

Для всех нулевых гипотез, выдвигаемых в отношении всевозможных пар рядов из этой группы, вероятность совершения ошибки первого рода превышает уровень 0,05. Отсутствие различий между рядом распределения для 3–6-го классов возраста с рядом распределения, полученным В. Ф. Багинским, следовало ожидать. Дело в том, что последний ряд был сформирован по материалам таксации приспевающих, спелых и перестойных древостоев в ходе разработки товарных таблиц под руководством В. Ф. Багинского [6], а эти древостои входят в возрастной период с 3-го по 6-й класс возраста. Распределение деревьев по диаметрам в сосновых древостоях Беларуси соответствует ряду распределения для древостоев со средним диаметром до 25 см, полученному А. В. Тюриным, но достоверно отличается от общего ряда распределения А. В. Тюрина, который он рекомендовал для практического применения, и ряда распределения для насаждений со средним диаметром более 25 см. Ряды Тюрина для древостоев со средним диаметром до 25 см и более 25 см имеют между собой достоверные различия. Общий же ряд занимает промежуточное значение и не имеет достоверных отличий от двух отмеченных выше рядов.

Заключение. Абсолютная изменчивость диаметров в древостое с возрастом увеличивается, а относительная падает. Это обусловлено

тем, что наряду с увеличением размеров деревьев и, следовательно, ростом отклонений диаметров от среднего значения в древостое идет процесс отпада угнетенных деревьев, что сокращает относительный размах вариации.

Ряды распределения диаметров деревьев сосны по естественным ступеням толщины в сосновых молодняках достоверно отличаются от рядов распределения других древостоев. Все ряды распределения диаметров по естественным ступеням толщины достаточно хорошо аппроксимируются бета-функцией.

Литература

1. Атрощенко, О. А. Лесная таксация : учеб. пособие / О. А. Атрощенко. – Минск: БГТУ, 2009. – 468 с.
2. Анучин, Н. П. Лесная таксация: учеб. / Н. П. Анучин. – 5-е изд., доп. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 552 с.
3. Третьяков, Н. В. Закон единства в строении насаждений / Н. В. Третьяков. – М.; Л.: Новая деревня, 1927. – 113 с.
4. Тюрин, А. В. Нормальная производительность лесонасаждений сосны, березы, осины и ели / А. В. Тюрин. – 2-е изд. – М.; Л.: Гос. изд-во с.-х. и колхозно-кооператив. лит., 1931. – 200 с.
5. Тюрин, А. В. Таксация леса / А. В. Тюрин. – 2-е изд. – М.: Гослестехиздат, 1945. – 376 с.
6. Багинский, В. Ф. Определение товарной структуры древостоев Белоруссии при лесоустройстве: метод. рекомендации с прил. товар. табл. / В. Ф. Багинский, А. Г. Костенко; Гослесхоз СССР, БелНИИЛХ, БЛУП. – Гомель, 1978. – 34 с.
7. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР. – М., 1984. – 308 с.
8. Машковский, В. П. Актуализация лесного фонда по таблицам классов возраста с использованием интерполяции / В. П. Машковский // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. – 2007. – Вып. XV. – С. 59–64.

Поступила 06.02.2013