

УДК 630.*5

З.Я. Нагимов, И.С. Сальникова
(Уральский государственный лесотехнический университет)

СТРОЕНИЕ КРОН ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ

Исследования строения крон деревьев (особенностей распределения количества ветвей в кронах по их линейным и весовым показателям, характера зависимостей между этими показателями) представляют несомненный интерес. Их результаты дают теоретическую основу для разработки методов оценки фитомассы крон. Однако до настоящего времени строению крон деревьев в специальной литературе внимания не уделялось. При оценке массы крон применяются методы, разработанные для определения запасов стволовой древесины. В частности, многие исследователи для этих целей используют модельные ветви. В то же время лесотаксационная наука в настоящее время не располагает отработанными методами их отбора. Одним из препятствий для разработки и обоснования методов учета фракций фитомассы крон по частичной выборке (модельным ветвям первого порядка), на наш взгляд, является отсутствие знаний о закономерностях распределения ветвей по размерным и весовым показателям.

Теоретической основой большинства лесоводственно-таксационных методов оценки древостоев являются закономерности распределения количества деревьев по их таксационным показателям. В этой связи логично предположить, что и методы оценки кроновой массы должны основываться на закономерностях распределения ветвей в кронах деревьев.

Некоторые результаты исследований по данному вопросу, полученные на довольно ограниченном материале 15 модельных деревьев, были ранее нами опубликованы (Нагимов, Деменев, 1990; Усольцев, Нагимов, Деменев, 1996). Настоящая работа базируется на экспериментальном материале 70 модельных деревьев, взятых в древостоях различных классов бонитета, возраста и полноты. На модельных деревьях у каждой ветви первого порядка определялись диаметр у основания, длина, общая масса и масса охвоенной части (древесной зелени).

Результаты исследований показали, что линейные размеры и масса ветвей в кронах деревьев сосны характеризуются высокой изменчивостью. Средние значения коэффициента вариации диаметра ветвей колеблются от 30,9 до 56,5%, длины – от 42,9 до 72,1%, общей массы – от 60,1 до 134,2% и массы древесной зелени – от 71,9 до 125,8%. Величина показателя асимметрии в изучаемых рядах изменяется в довольно широких пределах: для диаметра ветвей – от -0,86 до +1,90; длины – от -0,67 до +2,02; общей массы – от +0,16 до +3,12; массы древесной зелени – от +0,30 до +3,16. Еще

более широкие пределы изменения имеет показатель эксцесса: в рядах распределения ветвей по диаметру – от $-1,27$ до $+3,95$; по длине – от $-1,34$ до $+4,55$; по общей массе – от $-1,35$ до $+10,72$; по массе древесной зелени – от $-1,36$ до $+14,10$. При прочих равных условиях значения коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса в исследуемых рядах закономерно увеличиваются с повышением возраста деревьев (крон), улучшения их цено-тического положения и условий местопроизрастания. В целом влияние показателей одного и того же порядка на дифференциацию ветвей в кронах и деревьев в древостоях имеет обратный эффект. Приведенные выше материалы свидетельствуют, что статистические показатели, характеризующие ряды распределения количества ветвей по линейным и весовым показателям, зависят от множества факторов, влияющих на интенсивность процессов роста, дифференциации и отмирания ветвей. Строение крон не стабильно, а динамично.

Полученные значения коэффициента варьирования, асимметрии и эксцесса показывают, что ряды, характеризующие наиболее вероятное распределение количества ветвей в кронах деревьев по линейным и весовым показателям, не могут быть описаны одним нормальным законом. Если показатели асимметрии и эксцесса имеют определенную величину и являются достаточно достоверными, то при описании рядов распределения необходимо использовать кривые других типов (Никитин, 1966).

Выбор теоретических кривых для выравнивания рядов распределения, как известно, в теории строения древостоев является одним из основных вопросов. Тем не менее при его решении мнения исследователей не всегда совпадают. Так, при изучении характера кривых распределения в возрастной динамике древостоев ряд авторов предлагает использовать функцию Шарлье (Патацкас, 1964; Никитин, 1966, и др.). В.Н.Иванюта (1969) для этих целей рекомендует распределение Пуассона. Многие исследователи при решении этой задачи предпочтение отдают семейству кривых Пирсона (Дыренков, 1973; Макаренко, 1975; Дмитрах, 1982; и др.). Имеются работы, в которых для изучения динамики распределения деревьев по таксационным признакам в молодняках использована кривая Пирсона, а в остальных группах возраста - функция Шарлье или Лапласа-Гаусса (Гусев, 1978; Мошкалева и др., 1982). Нами для этих целей были использованы лог-нормальное и гамма-распределения (Луганский, Нагимов, 1994)

В последние годы в подобных исследованиях широко применяются двух- или трехпараметрические уравнения Вейбулла (Bailey, Dell, 1973; Ганина, 1984; Каплунов, Кузьмичев, 1985; Попов, 1993; Nagel, Biging, 1995; и др.). Признается высокая степень соответствия функции Вейбулла природным закономерностям распределения деревьев при ее относительной простоте.

В наше предыдущей работе (Нагимов, Деменев, 1990) при аппроксимации экспериментальных рядов были использованы кривые нормального, гамма- и бета-распределений. Причем из 45 рядов 2 (4,4%) удовлетворительно не описались этими теоретическими функциями. В настоящей работе выравнивание исследуемых рядов распределения двухпараметрической функцией Вейбулла дало положительные результаты в 207 случаях из 225. 18 рядов (8,0%) данной функцией не описались. Оценка сходства теоретических распределений с опытными данными производилась по критерию согласия Пирсона (χ^2) при 5%-ном уровне значимости и соответствующем числе степеней свободы в рядах. Наиболее часто несоответствие экспериментального и теоретического распределений наблюдалось для рядов распределения ветвей по массе (11%), а меньше всего – для рядов распределения по длине (6%).

В целом, на наш взгляд, функция Вейбулла обеспечивает вполне удовлетворительные результаты. Причем она может быть использована в качестве единого закона для всех изучаемых рядов распределения ветвей, что значительно сокращает объем расчетных работ. Поэтому целесообразность изучения динамики рядов распределения количества ветвей по линейным и весовым показателям на базе этого закона сомнений не вызывает. Несомненный интерес в теоретическом и практическом отношениях представляет возможность прогноза распределения числа ветвей по таксационным признакам на основе легко определяемых показателей деревьев. От параметров распределений можно перейти к оценке запасов крон.

С этой целью была изучена зависимость обоих параметров функции Вейбулла (параметра масштаба α и параметра формы β) от возраста A , диаметра D и высоты деревьев H , а также показателя условий местопроизрастания H_{100} . Как было показано выше, характер распределения ветвей по линейным и весовым показателям во многом определяется этими показателями. В то же время они достаточно легко измеряются, что важно в плане практического приложения результатов исследований.

При подборе структуры регрессионных уравнений исследовались парные связи параметров распределений с выбранными определяющими факторами и производились соответствующие графические построения. В результате для каждого параметра испытана следующая модель, приведенная логарифмированием к линейному виду:

$$\ln \alpha (\ln \beta) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A + a_4 \ln H_{100} + a_5 \ln D \ln H + a_6 \ln D \times \ln H_{100} + a_7 \ln D \ln A + a_8 \ln H \ln A + a_9 \ln H \ln H_{100} + a_{10} \ln A \ln H_{100} \quad (1)$$

В случаях, когда определяющие факторы уже известны, для выбора наилучшего уравнения регрессии лучше других подходит метод исключения (Никитин, Швиденко, 1978). Исключение переменных, мало влияющих на изменение результирующего признака, проводилось по значениям t -критериев Стьюдента при уровне значимости 0,05. В процессе статисти-

ческой обработки переменная N_{100} была исключена из моделей, как не обеспечивающая существенного повышения их точности. На наш взгляд, это объясняется ограниченным экспериментальным материалом в крайних классах бонитета. Существенно не улучшили уравнения и комбинации из независимых переменных. После исключения переменных, мало влияющих на результирующий признак, для параметров α и β всех четырех распределений получена единая структура трехфакторной модели:

$$\ln \alpha (\ln \beta) = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A. \quad (2)$$

Характеристика регрессионных уравнений, разработанных согласно структуре модели (2), приведена в табл. 1. Как видно из ее данных, уравнения одинаковой структуры обеспечивают неодинаковые результаты как при оценке разных параметров одного вида распределения, так и одного и того же параметра, но разных распределений. Этот факт вполне объясним и не требует особых разъяснений. В целом, на наш взгляд, разработанные уравнения обеспечивают достаточную точность при оценке искомым параметров и вполне пригодны на данном этапе (при собранном объеме экспериментального материала) для прогнозирования изменений рядов распределения ветвей по линейным и весовым показателям.

Область применения уравнений регрессии ограничивается диапазонами значений независимых переменных, использованных при их разработке. В данном случае возраст деревьев колебался от 15 до 119 лет, диаметр - от 1,4 до 32,1 см, высота - от 2,0 до 24,6 м. На основе этих уравнений для деревьев различного возраста, диаметра и высоты были разработаны ряды процентного распределения числа ветвей по диаметру, длине, общей массе и массе древесной зелени. При этом вначале для конкретных значений возраста деревьев определялся диапазон изменения их диаметров, затем для данных значений возраста и диаметра - пределы варьирования высот. После этого устанавливались диапазоны изменения линейных и весовых показателей у деревьев с фиксированными значениями возраста, диаметра и высоты. Эта работа выполнялась на основе графического анализа экспериментальных материалов с целью ограничения табличных данных по минимальным и максимальным значениям показателей, являющихся входами в таблицы.

На данном этапе мы отказались от перехода на относительные (естественные) ступени толщины, длины и массы, так как при этом затруднено практическое применение результатов. В то же время при оперировании абсолютными величинами не целесообразно устанавливать единую ступень, так как размеры ветвей варьируют в очень широких пределах в зависимости от таксационных показателей деревьев.

Таблица 1

Показатели уравнений регрессии вида $\ln X = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A$

Параметры распреде- ления (X)	Значение параметров			R ²	δ, %	Ошибки, % систематиче- ская, %
	a ₀	a ₁	a ₂			
Распределение ветвей по диаметру						
α	2.321	-0.412	0.233	0.685	±21.0	2.6
β	-0.370	0.812	-0.254	0.951	±7.9	-1.0
Распределение ветвей по длине						
α	1.891	-0.174	-0.022	0.723	±13.6	1.7
β	4.039	0.676	-0.070	0.850	±13.1	1.6
Распределение ветвей по массе						
α	1.156	-0.446	0.123	0.737	±17.0	2.4
β	2.964	2.213	-0.790	0.952	2±0.5	-2.9
Распределение ветвей по массе древесной зелени						
α	0.919	-0.270	0.018	0.826	±11.6	2.3
β	3.652	2.033	-0.768	0.948	±22.4	-4.5

Поэтому по статистическим соображениям каждый конкретный случай требует индивидуального подхода.

Полученные таблицы слишком громоздки для помещения их в данной работе, поэтому ограничимся лишь их анализом. В частности, можно отметить, что при фиксированных значениях возраста и высоты деревьев с увеличением их диаметра заметно расширяется диапазон варьирования толщины ветвей. Это положение объясняется изменениями пространственного окружения деревьев: при прочих равных условиях увеличение диаметра деревьев одинаковой высоты связано с уменьшением густоты их стояния. При меньшей густоте отмирание нижних толстых ветвей идет менее интенсивно.

В целом распределение ветвей по линейным и весовым показателям с возрастом не остается стабильным. Общей закономерностью для всех распределений является увеличение левосторонней асимметрии и эксцесса с увеличением возраста деревьев. В молодом возрасте распределение ветвей имеют более или менее симметричный характер, особенно по линейным показателям. С увеличением возраста появляются новые ветви, часть ветвей за счет прироста древесины из низших ступеней (диаметра, длины, массы) переходит в более высокие, другая часть (как правило, самые крупные) отмирает. Мода распределения, постепенно перемещаясь, отдалается от медианы.

На возрастные различия кривых распределения ветвей накладываетс дополнително влияние положения деревьев в древостоях. При прочих равных условиях деревья с одинаковыми размерами в молодом возрасте могут иметь доминирующее положение, а в старшем быть наиболее угнетенными.

Несомненный интерес представляет установление места средней ветви в кронах по различным таксационным показателям. Существенное варьирование коэффициента изменчивости, показателей асимметрии и эксцесса изучаемых рядов распределения свидетельствует о непостоянстве ранга средней ветви по линейным и весовым показателям. Вместе с тем изменение их находится в определенных границах (табл.2). В целом в исследуемых древостоях ранг средней ветви по диаметру изменится в пределах 46,7- 55,8%, по длине - 51,7-58,9%, по общей массе - 49,8- 71,7% и по массе древесной зелени - 50,0- 68,2%. Ранги средних ветвей вычислены нами по данным разработанных рядов процентного распределения ветвей. С увеличением возраста деревьев ранги закономерно увеличиваются, так как возрастают коэффициенты варьирования размеров и массы ветвей, а также показатели асимметрии и эксцесса рядов их распределения. Как известно, возрастной динамике рангов средних деревьев в древостоях присуща обратная направленность (Луганский, Нагимов, 1994).

Таблица 2

Положение средних ветвей в кронах деревьев сосны

Возраст де- ревьев, лет	Количество ветвей			по массе древесной зелени	
	по диаметру	по длине	по общей массе		
20	46.7 - 51.7	51.7 - 55.1	49.8 - 67.6	50	64.2
40	48.5 - 53.0	53.1 - 56.3	51.4 - 69.0	51.9	65.5
60	49.7 - 54.2	54.3 - 57.3	52.9 - 67.0	53.6	66.4
80	50.7 - 55.0	55.2 - 58.0	54.1 - 70.7	55.0	67.1
100	51.5 - 55.5	55.8 - 58.6	55.2 - 71.3	56.4	67.1
120	52.2 - 55.8	56.3 - 58.9	55.9 - 71.7	57.5	68.2

В конкретном возрасте колебание рангов средних ветвей объясняется варьированием размеров деревьев. Причем для всех изучаемых распределений характерна одна и та же закономерность: до 70-80-летнего возраста при одинаковой высоте деревьев ранги средних ветвей с увеличением их диаметра возрастают, а после этого возраста, наоборот, уменьшаются. Одним из наиболее важных результатов данных исследований является выявленное нами несоответствие рангов средних ветвей по линейным размерам и массы. Так, для деревьев с одинаковыми значениями возраста, диаметра и высоты положение средних ветвей по диаметру и массе могут отличаться более чем на 15%. Таким образом, вызывает сомнение правильность оценки массы крон и их структурных частей (хвои, ветвей, древесной зелени) по средним модельным ветвям. Наши исследования свидетельствуют, что ветвь, средняя по диаметру, не является средней по длине, а тем более средней по массе и массе древесной зелени. Анализ экспериментальных материалов показал, что в некоторых случаях масса средней ветви по диаметру может отличаться от средней массы ветвей кроны в 1,5-2 раза.

Данные процентного распределения количества ветвей по линейным и весовым показателям представляют интерес и в практическом отношении. В частности, имея ряды распределения ветвей по массе (массе древесной зелени, хвои), можно с достаточной точностью определить вес этих фракций фитомассы без взвешивания. Для этого необходимо знать только возраст, высоту, диаметр деревьев и количество ветвей на них. На материале 15 модельных деревьев была произведена проверка этого метода. Точность оценки оказалась не очень высокой. Минимальное отклонение значений массы этих фракций, рассчитанных на основе рядов процентного распределения, от фактических, полученных непосредственным взвешиванием, составило 14,5%, а максимальное - 32,7%. Тем не менее мы склонны считать, что предлагаемый метод оценки массы крон и их структурных частей безусловно имеет право на существование. Точность его может быть значительно повышена, в частности, дифференциацией рядов распределения ветвей дополнительно по условиям местопроизрастания, более объективным учетом ценологических факторов и т.д. Для этого необходим более обширный экспериментальный материал, и работа в этом направлении будет продолжена.

Библиографический список

- Ганина Н.В. Распределение деревьев по диаметру с помощью функции Вейбулла // Лесоведение. 1984. № 2. С. 65-70.
- Гусев И.И. Научные основы таксации еловых древостоев Европейского Севера: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1978. 37 с.

Дмитрах О.В. Строение, динамика роста и товарной структуры сосновых насаждений западной части Украинского Полесья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1982. 20 с.

Дыренков С.А. Некоторые свойства и возрастная динамика рядов распределения числа стволов по ступеням толщины // Вопросы лесоустройства, таксации и экономики лесн. хоз-ва: Сб. науч. тр. М., 1973. С. 114-127.

Иванюта В.М. Введение в лесную биометрию: Учеб.-метод. пособие / МЛТИ. М., 1969. 192 с.

Каплунов В.Я., Кузьмичев В.В. Взаимосвязь рядов распределения числа стволов по толщине, сумме площадей сечения и запасу // Строение, рост и инвентаризация лесонасаждений. Красноярск, 1985. С. 46-52.

Луганский Н.А., Нагимов З.Я. Структура и динамика сосновых древостоев на Среднем Урале. Екатеринбург, 1994. 140 с.

Макаренко А.А. О свойствах рядов распределения деревьев в древостоях // Лесоведение. 1975. № 6. С. 42-50.

Мошкалев А.Г. и др. Таксация товарной структуры древостоев. М., 1982. 160 с.

Нагимов З.Я., Деменев В.В. Распределение ветвей по таксационным признакам на деревьях сосны // Совершенствование научного обеспечения лесохозяйственного производства: Тез. докл. науч.-практ. конф. Пушкино, 1990. С. 42.

Никитин К.Е. Лиственница на Украине. Киев, 1966. 331 с.

Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М., 1978. 272 с.

Патацкас А.И. Применение функции Шарлье для исследования закономерностей строения насаждений // Лесн. жур. 1964. № 6. С. 7-11.

Попов В.Е. Рост и строение кедровых насаждений Лено-Ангарского плато: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1993. 22 с.

Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Деменев В.В. Закономерности распределения ветвей первого порядка по весовым и дендрометрическим признакам // Лесн. жур. 1996. № 4-5. С. 31-35.

Bailey R., Dell T. Quantifying diameter distributions with the Weibull function // Forest Sci, 1973, Vol. 19. P. 97-104.

Nagel J., Biging G.S. Schätzung Parameter der Weibullfunktion zur Generierung von Durchmesservertelung // Allg. Forst - u J.-Ztg., 166 Jg., 1995. S. 185-189.