

УДК 630.181.41+630.524.121

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОБЪЁМНОЙ ТАБЛИЦЫ С УЧЁТОМ СОЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕТАЁЖНОЙ ЗОНЫ

А.А. Вайс

ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»  
660049 Красноярск, пр. Мира, 82

Предлагается методика разработки норматива и вариант региональной объёмной таблицы, составленной на основе социальных условий в сосновых лесах восточно-сибирского экономического района. Все древостои по густоте стояния «соседей» вокруг растущей особи были разделены на три категории: высокая, средняя, свободно растущее. Снижение социальной напряженности (увеличение среднего расстояния вокруг растущей особи) приводит к увеличению объемов стволов по ступеням толщины. Объёмная таблица может быть использована для решения экологических задач: оптимизации структуры, установления темпов накопления древесных ресурсов, определения хода роста деревьев в различных социальных условиях, вычисления конкурентного давления для растущей особи и т.д.

The technique of development of the specification and variant of the regional volumetric table made on the basis of social conditions in pine woods of the East-Siberian economic region is offered. All forest stands on density of standing of "neighbours" around of the growing individual have been divided into three categories: high, average, freely growing. Decrease in social intensity (increase in average distance around of the growing individual) leads to increase in volumes of trunks on steps of thickness. The volumetric table can be used for the decision of ecological problems: optimization of structure, an establishment of rates of accumulation of wood resources, definition of a course of growth of trees in various social conditions, calculations of competitive pressure for the growing individual, etc.

### ВВЕДЕНИЕ

Объёмные таблицы в настоящее время остаются одними из основных нормативов, применяемыми при таксации запасов древостоев. Для их использования необходимо установить разряд высоты и в зависимости от толщины дерева на высоте 1,3 метра определяется объём ствола.

Общая цель всех методов составления объёмных таблиц – найти наиболее близкие объёмы для деревьев определенных размеров.

Определение объёма растущего дерева всегда предполагает наличие погрешности вычисления. Исследователи с давних пор применяли эмпирические формулы для установления объёма растущего дерева.

Так Н.В.Третьяков [1] при представлении растущего дерева, как параболоида, использовал данные обмера диаметра на высоте  $\frac{1}{4}$  (d1) и высоте  $\frac{1}{2}$  (d2) и предложил формулу:  $V=0,5795 \cdot h \cdot d1 \cdot \sqrt{d1 \cdot d2}$ .

М.М. Орлов [2] в учебнике «Лесная таксация» отмечал, что в таксации отдельно стоящих деревьев для применения стереометрических способов, выработанных таксацией срубленного леса, необходимы особые инструменты с целью определения на стоящих деревьях высот стволов и диаметров их на разных высотах. Стремление к упрощению таксационных действий привело к установлению нескольких особых методов определения объёмов стоящих деревьев по одному или двум измерениям.

Общепринятая формула таксации растущего дерева:  $V=N \cdot g \cdot f$  являлась основной при массовой таксации леса на корню. Массовые таблицы в лесной таксации имеют почти двухвековую историю [3].

Первые таблицы, применяемые в нашей лесо-

хозяйственной практике, – это Баварские массовые таблицы (1878 г.). С помощью них определяли объёмы стволов деревьев на высоте груди для спелого леса всех пород (старше 90 лет) и для приспевающих древостоев (от 60-90 лет) за исключением дуба и березы. Применение таблиц требовало определения породы, возраста, высоты и диаметра на высоте груди каждого ствола.

Дальнейшим упрощением таксации леса на корню был отказ от разделения таксационных деревьев на классы по высоте и отнесение всех стволов данного насаждения к одному разряду по высоте.

Такой метод таксации леса был принят в нашей лесохозяйственной практике, для которой в 1886 г. казенным Лесным управлением были изданы временные массовые таблицы для сосны, ели, дуба, березы и ольхи. Для каждой породы было установлено три разряда по высоте и сбег, выраженный изменением диаметра ствола по секциям длиной 1,4 м, а также и объём этих секций.

В период 1909 - 1913 г. изданы бывшим Удельным ведомством, так называемые удельные массовые таблицы. На основании обмера 108,077 стволов были составлены таблицы объёма сосны, ели, березы, осины, дуба, липы, граба, клена и ясеня. Применение удельных массовых таблиц требовало помимо обычных признаков – породы, высоты и толщины, еще типа формы, типа насаждения, возраста и области роста. Помимо трудности их применения довольно субъективно определялся тип насаждения и область роста.

В 1912 г. в Трудах по лесному опытному делу (вып. 43) были опубликованы массовые таблицы для сосны по бонитетам. На основании исследова-

ния соотношений между диаметрами на высоте груди и высотами стволов сосны в 100-летних насаждениях разных классов бонитета установлено некоторое постоянное соотношение между диаметрами и высотами, типичное для каждого класса бонитета.

На совещании (1929 г.) было признано, что при современных экстенсивных условиях для нашего лесного хозяйства таксация леса на корню должна производиться с точностью в определении запаса  $\pm 10\%$ , в условиях же более интенсивного хозяйства – с точностью  $\pm 5\%$ .

И.В. Семечкин при разработке объемных таблиц для кедровников Западного Саяна [4] приводит следующие особенности применительно к разновозрастным древостоям. Автор использовал метод составления объемных таблиц по разрядам высот, которая была изменена в соответствии с особенностями строения разновозрастных древостоев. Средние высоты выделенных при перечёте поколений и действительных сорокалетних поколений близки к общей кривой высот всего древостоя. Это обстоятельство привело к новому практическому выводу, а именно, к возможности построения кривых разрядов высот, одинаково пригодных для таксации разновозрастных древостоев по поколениям и в целом без расчленения их на поколения.

Разработка массовых таблиц требовала большого количества обмера деревьев.

По мере изучения закономерностей в строении древостоев и связи между основными таксационными признаками деревьев менялись методы составления таблиц и количество исходного материала [5]. М.А. Данилин [5] приводит сведения о том, что проф. В.К. Захаров [7] в результате своих исследований пришёл к выводу о единстве средней формы стволов отдельных пород. Для составления массовых таблиц однородного древостоя он рекомендовал обмерять 150-200 моделей, но при этом обмер усложняется, так как в этом случае высота ствола делится на десять частей и диаметры в коре и без коры измеряются на каждой десятой высоте ствола.

Н.Е. Суприянович [8] составил объемные таблицы сосновых древостоев Приангарья. Он указывал, что действующие на тот момент объемные таблицы Б.Н. Тихомирова в результате расчета занижают запас тонкомерной части древостоя и значительно увеличивает запас высоких ступеней толщины, кроме этого таблица предусматривала разделение на разряды, что вызывало некоторые неудобства. После разработки шкалы разрядов (IX) высот производилось изучение полндревесности стволов раздельно, как по ступеням толщины каждого разряда высот, так и в целом для древостоев элементов леса в разрезе классов бонитета.

Особенности расчета объемов стволов приведены в статье С.В. Третьякова [9]. Автор установил, что по коэффициентам формы и видовым числам в сосново-еловых древостоях формируются более полндревесные стволы, чем в чистых. У ели наблюдалась четкая закономерность изменения формы стволов по разрядам высот. С увеличением разряда

высот от I до V форма стволов закономерно ухудшается, формируются более сбежистые стволы. Это доказывает необходимость составления специальных нормативов для таксации ели в смешанных древостоях.

Каждая категория насаждений (чистые, смешанные, разновозрастные) требует индивидуальных методических подходов к разработке объемных таблиц.

С.Л. Шевелев, В.В. Кузьмичев, Н.В. Павлов, А.С. Смольянов [10] моделировали объемы для составления «Справочника...» и оценки качества нормативов путем анализа закономерностей и взаимосвязей таксационных показателей и, прежде всего, зависимостей старого видового числа от высот и диаметров стволов.

Авторы отмечают ряд недостатков применяемых объемных таблиц. Так при составлении нормативов сосны корреляционная зависимость старого видового числа от высоты была выражена функциональной зависимостью - общей для всех разрядов высот. Для лиственницы сибирской и пихты использовалась функциональная зависимость старого видового числа от диаметра ствола. У берез сохранялась тенденция снижения значений старого видового числа с увеличением диаметра (при этом для отдельных разрядов роста эта зависимость имеет линейную форму), и в то же время совсем не выражено это уменьшение видовых чисел с ростом высот деревьев. В нормативах для ели наблюдалась связь диаметров и видовых чисел для тонкомерных деревьев и слабая зависимость для крупномерных, что также связано с использованием функциональных зависимостей для каждого разряда высот.

Корректировка нормативов авторами производилась с помощью математического выравнивания табличных значений высот и объемов стволов. Эту операцию выполняли с одновременным использованием значений всех разрядов высот. При расчете математических моделей аргументами являлись диаметр на высоте груди и выровненная высота стволов.

Как было сказано выше, существующие нормативные таблицы составлены на разрядном принципе, который учитывает только разряды растущих деревьев. Только ограниченное число объемных таблиц разрабатывается на бонитетной основе (с учетом качества местопроизрастания). Создаются нормативы путем объединения материала из различных насаждений без учета биологических, экологических закономерностей.

В связи с переходом лесного хозяйства на устойчивое лесопользование должны меняться таксационные методы к разработке нормативов. Необходимо учитывать биологические, социальные условия вокруг растущей особи, которые сформировались в ценозе.

## МЕТОДИКА, ОБЪЕМ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Исследования производились в разных географических районах среднетаежной зоны: Абанский, Боготольский, Пировский лесхозы Красноярского

края; Газимур-Заводский лесхоз Читинской области и Ленский лесхоз автономной республики Саха – Якутия. Объектом изучения являлись сосновые ценозы, в которых брались модели по ступеням толщины и густоте стояния (среднему расстоянию от растущей особи до ближайших «соседей» - конкурентов). Общее число моделей составило более 300 деревьев.

Модели обмерялись по действующему стандарту ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустойчивые. Методы закладки» [11]. У растущего дерева до рубки определяли диаметры крон, расстояния до соседних особей и размеры конкурентов по толщине.

Объемы стволов вычислялись по сложной формуле Губера. Обработка данных производилась с помощью электронной таблицы «Excel» и статистического пакета «Statgraphic».

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первичный этап разработки объёмных таблиц предполагает визуальный (графический) анализ исходного материала с установлением соотношений высот и диаметров и характеристикой качества условий местопроизрастания (определение классов бонитета).

Визуальный анализ позволил сделать вывод, что при сравнении соотношений высот и диаметров взятых моделей и данных объёмных таблиц [12] для сосны в коре района (3б) (подрайон южнотаежных лесов Среднесибирского плоскогорья, входящего в Восточно-сибирский экономический район) наблюдаются явные различия в аппроксимирующих линиях. Максимальное соотношение (верхняя линия) в насаждениях Абанского лесхоза (II – III разряд высоты), далее древостои Боготольского лесхоза (IV разряд высоты), Газимур – Заводский лесхоз (V разряд высоты), Пировский-лесхоз (VII разряд высоты) и Ленский лесхоз (VIII разряд высоты). Исходные модели охватывают практически все возможные области роста для данного района.

Сравнение хода роста насаждений в высоту по модельным деревьям с бонитетной шкалой М.М. Орлова [12] показало, что древостои Абанского

лесхоза характеризуются I бонитетом; Газимур – Заводский лесхоз и Боготольский лесхоз – II бонитет; Пировский лесхоз – III бонитет; Ленский лесхоз – IV бонитет.

Исходный материал характеризуется максимальным числом возможных вариантов роста, что позволяет применять к разрабатываемой объёмной таблице статус региональной.

Характеристики диапазона морфолого-пространственных признаков моделей приведены в таблице 1.

На втором этапе производится оценка социальных условий особей в ценозах. Для этого модели были отсортированы на три категории по социальным условиям [13]: свободно растущие (среднее расстояние 5,1 м и выше); средняя густота (среднее расстояние 3,1 – 5,0 м) и высокая густота стояния (среднее расстояние 0 – 3,0 м).

Далее разрабатывается рабочая шкала соотношений высот и диаметров. Принцип разрядности сохранен, поскольку высота и диаметр – это основные объемобразующие показатели.

Основой шкалы являлись уравнения параболического вида:

$H = a + b \cdot d_{1,3} + c \cdot d_{1,3}^2$ , которые вычислялись по категориям социальных условий. В результате было установлено для категории 0 – 3,0 м – 3 разряда; 3,1–5,0 м – 4 разряда; 5,1 м и выше – 5 разрядов. С увеличением густоты стояния деревьев диапазон соотношений высот и диаметров уменьшается.

Высокая густота стояния деревьев:

$$\begin{aligned} 1p - H &= 5,2872 + 1,2321 \cdot D - 0,0123 \cdot D^2; \\ 2p - H &= -0,5897 + 1,3784 \cdot D - 0,0163 \cdot D^2, \\ 3p - H &= -6,4666 + 1,5247 \cdot D - 0,0202 \cdot D^2. \end{aligned} \quad (6 - 62\text{см});$$

Средняя густота стояния деревьев:

$$\begin{aligned} 1p - H &= -2,3284 + 1,7801 \cdot D - 0,0212 \cdot D^2; \\ 2p - H &= -0,9073 + 1,3640 \cdot D - 0,0148 \cdot D^2, \\ 3p - H &= 0,5138 + 0,9479 \cdot D - 0,0084 \cdot D^2; \\ 4p - H &= 1,9349 + 0,5318 \cdot D - 0,0019 \cdot D^2. \end{aligned} \quad (6 - 62\text{см});$$

Свободно растущие деревья:

$$\begin{aligned} 1p - H &= -1,5175 + 1,533 \cdot D - 0,0168 \cdot D^2; \\ 2p - H &= -5,6141 + 1,6134 \cdot D - 0,0194 \cdot D^2; \\ 3p - H &= -9,7107 + 1,6938 \cdot D - 0,0220 \cdot D^2, \\ 4p - H &= -13,8073 + 1,7742 \cdot D - 0,0246 \cdot D^2; \\ 5p - H &= -17,904 + 1,8544 \cdot D - 0,0272 \cdot D^2. \end{aligned} \quad (8 - 62\text{см});$$

**Таблица 1 - Лимиты морфолого-пространственных показателей модельных деревьев**

Показатели	Районы исследований				
	Абанский лесхоз	Боготольский лесхоз	Пировский лесхоз	Газимур–Заводский лесхоз	Ленский лесхоз
Возраст, лет	15 -145	20 - 130	18 – 110	20 – 80	35 – 124
Высота, м	5,2 – 36,0	6,0 – 28,7	6,0 – 21,0	10,0 -26,0	9,0 – 17,5
Диаметр, см	5,9 – 61,5	8,0 – 42,0	10,0 – 28,0	6,0 – 49,0	7,0 – 33,0
Объем в коре, м <sup>3</sup>	0,009-3,490	0,02 – 1,475	0,0484-0,630	0,0142-2,046	0,057– 0,111
Среднее расстояние, м	1,0 – 6,4	0,8 – 6,0	4,8 – 12,8	1,1 – 6,1	2,1 – 11,5

На следующем этапе определяются регрессионные уравнения для вычисления объемов стволов в коре.

По данным исследователей [12,14] вычисления производятся либо с учетом видовых чисел, коэффициентов формы или с помощью зависимости объема от диаметра и высоты с учетом средней

формы стволов. В результате был выбран второй вариант поиска зависимости  $V = f(d_{1,3})$  по разрядам высот и категориям социальных условий.

Оказалось, что наилучшим образом аппроксимирует зависимость объема от толщины стволов степенное уравнение  $V = a \cdot db_{1..3}$ .

На предпоследнем этапе установлены парамет-

ры уравнений:  $V = a \cdot d_{1,3}^b$  (таблица 2).

В окончательном варианте разрядная шкала была сконцентрирована путем объединения части

данных: категория 0-3,0 м – (2+3 разряд); категория 3,1-5,0 м – (1+2 и 3+4 разряды); категория 5,1 м и выше – (2+3 и 4+5 разряды).

**Таблица 2 - Параметры моделей связи  $V = a \cdot d_{1,3}^b$**

Среднее расстояние, м	Разряды высот	Коэффициенты моделей		Коэффициенты детерминации
		a	b	
0-3,0	1	0,0002	2,3804	0,970
	2	0,0001	2,5359	0,980
3,1-5,0	1	0,0002	2,3889	0,979
	2	0,0001	2,5503	0,981
5,1 м и выше	1	0,0002	2,4051	0,991
	2	0,00009	2,5896	0,987
	3	0,00005	2,7267	0,937

Нелинейная форма связи не позволяет выполнить статистическую оценку уравнений. Поэтому была выполнена линеаризация моделей с помощью логарифмирования:  $\ln V = a + b \cdot \ln d_{1,3}$ .

Оценка уравнения приведена в таблице 3.

Данные таблицы 3 получены для уровня доверительной вероятности 95,4%. Все модели достоверны и надежны по критерию Фишера ( $F_f \geq F_{ст}$ ). Случайная ошибка уравнений находится в пределах 0,027-0,089 м<sup>3</sup>. Аппроксимирующие линии адекватно описывают объемные зависимости ( $R > 0,950$ ) и могут применяться для разработки норма-

тивов.

На заключительном этапе получаем региональную объемную таблицы для сосны в коре. С этой целью модели таблицы 2 были протабулированы и значения объемов совместили с разрядной шкалой (табл. 4).

Подробный анализ разработанной объемной таблицы не является целью данной статьи, но необходимо отметить увеличение объемов стволов по ступеням толщины со снижением социальной напряженности (увеличением среднего расстояния вокруг растущей особи).

**Таблица 3 - Параметры и оценка линейной модели  $\ln V = a + b \cdot \ln d_{1,3}$**

Расстояние, м	Разряды высот	Коэффициенты модели		R	m <sub>v</sub> , м <sup>3</sup>	F	N, шт
		a	b				
0-3,0	1	-3,6639	1,0338	0,985	0,089	1050	34
	2	-3,9195	1,1013	0,990	0,082	4584	96
3,1-5,0	1	-3,7147	1,0375	0,990	0,064	1800	40
	2	-4,0048	1,1076	0,990	0,078	2383	49
5,1 и выше	1	-3,7596	1,0445	0,995	0,027	1544	16
	2	-4,0401	1,1246	0,994	0,067	1239	18
	3	-4,3371	1,1842	0,968	0,075	297	22

Примечание: R – коэффициент корреляции; m<sub>v</sub> – ошибка линии регрессии; F – критерий Фишера; N – объем выборки.

**Таблица 4 - Региональная объемная таблица для района 3<sup>б</sup>**

Ступени тол- щины, см	Объемы (в коре) деревьев по социальным условиям и разрядам высот, м <sup>3</sup>						
	0 - 3,0 м		3,1 – 5,0 м		5,1 м и выше		
	I	II	I	II	I	II	
8	0,0282	0,0195	0,0287	0,0201	-	0,0196	-
12	0,0741	0,0545	0,0757	0,0565	-	0,0561	-
16	0,1470	0,1331	0,1505	0,1177	0,1574	0,1181	0,0960
20	0,2500	0,1992	0,2565	0,2080	0,2692	0,2106	0,1764
24	0,3859	0,3163	0,3965	0,3311	0,4174	0,3376	0,2900
28	0,5570	0,4676	0,5730	0,4906	0,6048	0,5033	0,4415
32	0,7654	0,6560	0,7883	0,6896	0,8338	0,7112	0,6354
36	1,0131	0,8844	1,0404	0,9312	1,1069	0,9648	-
40	1,3019	1,1552	1,3434	1,2182	-	1,2675	-
44	1,6334	1,4711	1,6868	1,5535	-	1,6223	-
48	2,0094	-	2,0766	1,9394	-	2,0323	-
52	2,4311	-	2,5741	2,3786	-	-	-
56	2,9001	-	3,0011	-	-	-	-
60	3,4178	-	-	-	-	-	-

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

а) переход лесного хозяйства к устойчивому лесопользованию предполагает разработку новых таксационных нормативов, учитывающих экологи-

ческие и биологические закономерности ценозов.

б) существующие объемные таблицы составлены на разрядной основе соотношений диаметров и высот, что обосновано для данных нормативов.

в) для учета закономерностей роста в ценозах рекомендуется их создавать с учетом социального фактора (среднее расстояние от растущей особи до

ближайших деревьев).

г) методика разработки объемной региональной таблицы для средней и южной тайги Среднесибирского плоскогорья состоит из следующих этапов:

- анализ исходного материала;
- сортировка моделей по социальным условиям с разделением их на три категории: свободнораствующие (среднее расстояние 5,1 м и выше); средняя густота (среднее расстояние 3,1-5,0 м) и высокая густота (среднее расстояние 0-3,0 м);
- разрабатывается рабочая разрядная шкала соотношений высот и диаметров;
- выбираются регрессионные модели для связи объемов от морфологических признаков деревьев;
- устанавливается окончательный вид разрядной шкалы, и табулируются уравнения;
- разрядная шкала совмещается с данными объемов, что создает окончательный вид норматива.

д) разработанная объемная таблица, помимо основной задачи определения объемов стволов и таксации запасов лесосечного фонда, может использоваться для решения экологических задач: оптимизации структуры, установления темпов накопления древесных ресурсов, определения хода роста деревьев в различных социальных условиях, выделения конкурентного давления для растущей особи и т.д.

Данный метод разработки и региональная таблица может быть рекомендована для внедрения в лесохозяйственную деятельность.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Третьяков, Н.В. Определение объема древесного ствола с помощью трех обмеров / Н.В. Третьяков // Сб. статей по лесному хозяйству. – Петроград, 1916. – С. 99-163.
2. Орлов, М.М. Лесная таксация / М.М. Орлов. – 3-е изд. – Ленинград.: Лесн. хоз-во, 1929. – 530с.
3. Массовые таблицы для сосны, ели, дуба, березы и осины по классам бонитета // ВНИЛИ. – М.: Сельколхозгиз, 1931. – 496 с.
4. Семечкин, Н.В. Объемы стволов в кедровниках Западного Саяна / Н.В. Семечкин // Вопросы лесн. промышленности и лесного хозяйства Сибири: сб. статей по обмену опытом – Красноярск, 1964 – С. 54-64
5. Анучин, Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов / Н.П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1982 – 550 с.
6. Данилин, М.А. К вопросу составления массовых таблиц / М.А. Данилин, П.И. Шорохов // Учет лесного фонда и организации лесного хозяйства: межвуз. сб. – Красноярск, 1976.- С. 97-100.
7. Захаров, В.И. Лесная таксация / В.И. Захаров. – М.: Высшая школа, 1961. – 243 с.
8. Суприянович, Н.Е. Объемные таблицы сосновых древостоев Приангарья / Н.Е. Суприянович // Лесная таксация лесоустройство. – Красноярск, 1977 – С. 64-67.
9. Третьяков, С.В. Объемы стволов сосны и ели по разрядам высот в смешанных древостоях средней тайги / С.В. Третьяков // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск, 1991. – С. 52-59.
10. Шевелев, С.Л. Лесотаксационный справочник / С.Л. Шевелев, В.В. Кузьмичев, Н.В. Павлов, А.С. Смольянов. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 166 с.
11. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки.– М.: ЦБНТИ Гослесхоза, 1983. – 60 с.
12. Шевелев, С.Л. Справочник таксатора: учебно-справочное пособие для студ. всех форм обучения / С.Л. Шевелев, В.В. Кузьмичев, Н.В. Павлов, А.С. Смольянов.– Красноярск: СибГТУ, 2004.- 172 с.
13. Вайс, А.А. Моделирование видовых чисел на основе морфолого-пространственных признаков деревьев / А.А. Вайс (в печати).
14. Кузьмичев, В.В. Сравнение таблиц объемов стволов лиственницы / В.В. Кузьмичев // Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, 1998 – С. 22-39.

Поступила в редакцию 16 октября 2007 г.  
Принята к печати 26 ноября 2007 г.