

## ЭКСПРЕСС-СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТВОЛОВОЙ МАССЫ ДЕРЕВА

Органическая масса деревьев традиционно измерялась в единицах объема (куб.м). Сейчас как в научных, так и в практических целях чаще используются весовые показатели. Важным методическим моментом является определение массы ствола, которая может составлять 60-70 и даже 90% от наземной части дерева. Кроме того, оценив массу ствола, легко по соотношению частей дерева определить и другие его фракции (ветви, хвою, крону, корни и т.д.). Как правило, исследователи при проведении таких работ автоматически применяют известные методы и способы лесной таксации. В настоящее время используются два способа определения стволовой массы дерева:

1) непосредственное прямое взвешивание всего ствола или его отрезков;

2) измерение параметров ствола (диаметр, высота) с последующим вычислением его объема и расчетом его массы через условную плотность с учетом влажности (Поздняков и др., 1969).

Известные способы определения стволовой массы дерева очень сложны и трудоемки, связаны с большими затратами времени.

Прямое взвешивание ствола деревьев требует валки дерева у основания (шейки корня) ствола, что само по себе сложно и трудоемко; полной обработки ветвей: раскряжевки ствола на оптимальное число отрезков, что практически трудно выполнимо; и, наконец, взвешивания всех отрезков ствола.

В другом случае для получения корректных данных необходимо измерить ствол, по крайней мере в 10-12 точках, и взять достаточное число образцов на исследование плотности и влажности, варьирование которых довольно велико даже в пределах одного ствола (Полубояринов, 1976). Кроме того, многочисленные измерения и расчеты вызывают появление большого количества трудновывяемых систематических и случайных ошибок, что, в итоге, опять приводит к получению некорректных результатов.

При определении массы ствола необходим отбор образцов на плотность и влажность по всему стволу, от основания до вершины, в целях учета варьирования плотности и влажности по диаметру и высоте дерева. Все это сопровождается большими затратами труда и времени. Поэтому для сокращения общих затрат труда и времени, снижения тру-

доемкости работ и повышения точности оценки нами был предложен и разработан новый способ определения массы ствола дерева. Он основан на функциональной связи между массой ствола и массой его относительных отрезков длиной, равной 0,1 протяженности ствола, подтвержденной специальными опытами с сосной обыкновенной. Исследованиями, проведенными нами в трех регионах (Казахстан, Урал и Сибирь), было выявлено неизвестное ранее природное явление, заключающееся в том, что "... числовые значения относительных величин весовых показателей масс отрезков ствола, независимо от размера и возраста деревьев, условий формирования и произрастания, а также их географической приуроченности, обладают "эффектом стабильности", т.е. имеют малую степень изменчивости (3-5%), высокую степень вероятности (99%) при высокой ( $r = \pm 0,999$ ) степени тесноты связи (Аткин, 1994). Исходя из этого было предложено использовать не весь ствол, а его отрезок длиной, равно й 0,1 протяженности ствола, относительная величина массы которого, как нами было установлено ранее, обладает высокой стабильностью, практически независимой от возраста и дифференциации деревьев в древостое, и применить его в качестве количественного показателя для последующего определения общей массы ствола.

Апробация способа показала, что точность оценки стволовой массы деревьев по предлагаемому способу вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям. Причем для определения стволовой массы дерева можно использовать относительные величины масс любого из 10 отрезков. Однако исходя из целесообразности снижения трудоемкости работ и получения данных с достаточной точностью не рекомендуется использовать комлевой (первый) и вершинный (десятый) отрезки ствола. Тем более, что тенденция увеличения случайной ошибки определения массы ствола к его вершине стабильно сохраняется и может составлять, как в нашем случае, достаточно большую величину (табл.1). Наиболее точные результаты по предлагаемому способу получаются с использованием четвертого, пятого, шестого и седьмого отрезков, т.е. средних отрезков.

Дальнейшее исследование показало, что средние величины масс отрезков ствола разного возраста мало отличаются между собой (табл.2). На точность учета возраст деревьев практического влияния не оказывает. При использовании относительных величин масс 5 и 6-го отрезков ствола разного возраста систематическая ошибка составила -0,1+0,5, случайная +4,1-6,9 и общая +1,2 -2,0 . Использование средних величин не увеличивает ошибок (табл.3).

Определение массы ствола данным способом осуществляется следующим образом. Исследуемое дерево спиливают, оставляя пень на удобной для работы вальщиков высоте. Затем измеряют протяженность ствола, от его основания у шейки корня до вершин, учитывая и высоту пня. Далее производят разметку с выделением необходимого отрезка длиной, равной 0,1 протяженности ствола. Нумерация отрезков во всех случаях начинается от основания ствола (0,1 - первый, 0,2 - второй и т.д.) до вершины.

Таблица 1

**Систематическая ( $\sigma$ ), случайная ( $b$ ) и общая ( $m$ ) ошибки определения массы ствола**

Ошиб-ка	Отрезок ствола									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\sigma$	+0,4	-0,1	-0,1	+0,1	+0,8	+0,5	-0,1	+2,8	+8,7	+49,1
$\pm b$	7,4	4,0	4,2	3,7	4,4	5,2	7,1	14,8	33,5	102,7
$\pm m$	2,0	1,1	1,1	1,0	1,2	1,4	1,9	3,9	9,0	27,5

Таблица 2

**Средние величины масс отрезков ствола сосны, %**

Возраст древо-стоев, лет	Отрезок ствола									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	22,9	17,1	14,6	12,5	10,5	8,5	6,5	4,3	2,5	0,6
40	22,5	17,0	14,6	12,5	10,7	8,8	6,6	4,5	2,2	0,6
70	21,0	16,8	14,4	12,7	10,8	8,9	6,9	5,0	2,8	0,7
90	21,7	16,9	14,7	12,9	10,8	8,8	6,8	4,7	2,3	0,4
20-90	22,1	17,0	14,6	12,6	10,6	8,8	6,7	4,6	2,4	0,6

На выпиленном отрезке ствола обрубают ветви (при их наличии) и взвешивают его. При необходимости из него отбирают один образец на влажность для последующего перерасчета его массы на абсолютно сухое состояние. Зная массу отрезка и его среднюю относительную величину, которые составляют у четвертого 12,6, пятого 10,6, шестого 8,8, седьмого 6,7%, легко вычислить массу ствола по формуле:

$$P_{ст} = \frac{P_m}{P_p} \cdot 100\%$$

где  $P_{ст}$  - масса ствола;

$P_m$  - масса взятого отрезка, %.

Таблица 3

**Ошибки учета массы стволов сосны разного возраста при использовании средних величин**

Отрезки ствола	Возраст древостоев, лет											
	20			40			70			20 - 90		
	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$
Пятый	-2,4	4,2	1,1	-0,1	4,7	1,4	+1,0	4,9	1,6	-0,8	4,6	0,8
Шестой	-2,8	3,5	0,9	+0,1	7,0	2,0	+2,3	4,0	1,4	-0,1	5,6	0,9

Способ прошел государственную экспертизу и защищен юридически патентом РФ (Аткин, 1995). Кроме того, он был проверен в полевых условиях, для чего были использованы 4 постоянные пробные площади, заложенные на территории Осиновского леспромхоза Богучанского района Красноярского края, в сосняках 10-40-летнего возраста лишайниковой и зеленомошной группы типов леса. На пробных площадях было взято 29 модельных деревьев разного размера и возраста. Проверка осуществлялась по двум направлениям. В первом случае точность оценки стволовой массы деревьев в абсолютно сухом состоянии определялась с использованием относительных величин масс средних отрезков ствола. После проведения всех работ абсолютные отклонения значений предлагаемого способа от известного, выраженные в процентах, были подвергнуты статистическому анализу (табл. 4). Во втором случае точность оценки стволовой массы деревьев в сырораствующем состоянии определялась с использованием относительной величины массы среднего (пятого) отрезка ствола. Установлено, что предлагаемый способ намного снижает трудоемкость работ. Общие затраты труда и времени при применении способа сокращаются в среднем в 5-7 и даже 10 раз, причем при определении стволовой массы крупных деревьев затраты труда и времени, по сравнению с известными способами, снижаются еще больше. Численные показатели испытаний, приведенные нами, свидетельствуют, что заявленный способ может применяться при определении стволовой массы деревьев как в научных, так и в практических целях (табл. 5). Статистический анализ данных показал, что ошибки учета не превышали 0,6-2,6% (табл. 6).

В целях дальнейшего сокращения времени определения ствольной массы дерева и удобства пользования предлагаемым способом в полевых условиях нами была исключена операция по вычислению ствольной массы деревьев, для чего составлена универсальная таблица значений искомой величины ствольной массы деревьев при известном значении массы пятого отрезка ствола (табл. 7).

Таблица 4

**Ошибки учета ствольной массы деревьев с использованием относительных величин масс средних отрезков ствола, %**

Отрезки ствола	ПП 1			ПП 2			В среднем в сосня- ках		
	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$
0,2	+10,5	6,5	2,4	+3,2	4,7	1,7	+6,6	6,7	1,7
0,3	+6,7	5,8	2,2	-0,1	7,6	2,7	+3,1	7,6	2,0
0,4	+1,2	5,7	2,2	-0,1	5,8	2,1	+5,1	5,8	1,5
0,5	-1,2	1,7	0,6	-1,8	3,0	1,1	-1,9	2,5	0,6
0,6	-13,8	7,7	2,9	-8,8	5,3	1,9	-11,1	7,0	1,8
0,7	-24,5	8,9	3,4	-14,7	11,2	4,0	-19,2	11,3	2,9

Таблица 5

**Численные показатели испытаний предлагаемого способа  
(h - длина отрезка; m - масса, кг; Pф - фактическая масса  
ствола, кг; Pр - расчетная масса ствола, кг)**

Показатель	Номер модельного дерева						
	1	2	3	4	5	6	7
Пробная площадь 3							
h	0,32	0,60	0,78	0,30	1,00	1,03	1,20
m	0,08	0,50	1,35	2,20	4,70	7,00	9,30
Pф	0,73	4,50	12,40	21,40	42,40	63,00	86,60
Pр	0,75	4,69	12,65	20,62	44,05	65,60	87,16
Отклонения, %	+2,7	+4,20	+2,00	-3,6	+3,9	+4,1	+0,6
Пробная площадь 4							
h	0,58	0,71	0,83	1,07	1,06	1,20	1,22
m	0,16	0,65	0,90	3,00	4,80	7,20	10,80
Pф	1,50	6,20	8,20	27,90	43,30	64,90	97,60
Pр	1,49	6,09	8,44	28,21	44,99	67,48	101,22
Отклонения, %	-0,7	-1,8	+2,9	+3,4	+3,9	+4,0	+3,7

## Ошибки учета стволовой массы дерева

Пробная площадь	Ошибка учета		
	$\sigma$	$\pm b$	$\pm m$
3	+2,0	2,6	1,0
4	+2,2	2,2	0,8
в среднем	+2,1	2,4	0,6

Таблица 7

## Значения искомым величин стволовой массы деревьев при известном значении массы пятого отрезка от 0 до 10

Отрезок ствола	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00	9,35	18,69	28,03	37,38	46,72	56,07	65,42	74,77	84,11
0,1	0,94	10,28	19,63	28,97	38,32	47,66	57,01	66,36	75,70	85,04
0,2	1,87	11,21	20,56	29,90	39,25	48,60	57,94	67,29	76,64	85,98
0,3	2,80	12,15	21,50	30,84	40,19	49,53	58,88	68,22	77,57	86,92
0,4	3,74	13,08	22,43	31,78	41,47	50,47	59,81	69,16	78,50	87,85
0,5	4,67	14,02	23,36	32,71	42,06	51,40	60,74	70,09	79,44	88,79
0,6	5,61	14,95	24,30	33,64	42,99	52,34	61,68	71,03	80,37	89,72
0,7	6,54	15,89	25,23	34,58	43,93	53,27	62,62	71,96	81,31	90,65
0,8	7,48	16,82	26,17	35,51	44,86	54,21	63,55	72,90	82,24	91,59
0,9	8,41	17,76	27,10	36,45	45,79	55,14	64,49	73,83	83,18	92,52

Табл. 7 используется для нахождения массы ствола (целые и сотые доли) по данным массы пятого отрезка (целые и десятые доли), определенной в лесу прямым взвешиванием. Правила пользования прилагаемой таблицей просты и общедоступны. Если данные по массе пятого отрезка больше 10, то необходимо их значения увеличивать в 10, 100 раз и т.д. Общая масса ствола увеличивается во столько же раз, т.е. при переносе запятой влево или вправо у заданной величины и у искомой величины необходимо также и настолько же перенести запятую в ту или иную сторону. Общая масса ствола в таблице соответствует физиче-

скому состоянию (сырая, воздушно-сухая, абсолютно сухая) и единице измерения (г, кг, ц, т) массы анализируемого отрезка.

Таким образом, использование предлагаемого способа по сравнению с существующими упрощает и ускоряет оценку стволовой массы деревьев, одновременно повышая ее точность. Многочисленные измерения и расчеты по известному способу приводят к большему количеству систематических и случайных ошибок. Предлагаемый способ по сравнению с известными имеет следующие отличительные особенности:

- резко сокращает трудоемкие операции за счет замены физически тяжелых операций на измерительные;
- полностью исключает или сводит до минимума операции по обрубке сучьев, распиловке ствола на отрезки и их взвешиванию;
- облегчает валку дерева, допуская возможность оставить пень любой высоты;
- исключает влияние варьирования плотности и влажности ствола по высоте на точность определения стволовой массы в абсолютно сухом состоянии за счет определения влажности не всего ствола, а его отрезка, используемого для последующих вычислений;
- позволяет провести работы по определению стволовой массы деревьев с привлечением меньшего количества исполнителей.

Предлагаемый способ обладает простотой и универсальностью, широким диапазоном и возможностью маневрирования при его применении. Использование его наиболее эффективно при определении стволовой массы деревьев, достигших больших размеров, и при проведении учетных работ в труднодоступных местах. В этих случаях его применение не только предпочтительно, но иногда и единственно возможно. Способ апробирован на примере сосны обыкновенной, но исходя из общих биологических закономерностей формирования ствола у деревьев его можно использовать при определении стволовой массы и всех остальных древесных пород, по крайней мере с моноподиальным и симподиальным типами нарастания стеблей. Небольшое отличие относительных величин возможно лишь в комлевой и вершинной частях, что объясняется разной формой (сбежистостью) ствола и варьированием формы и массы крон деревьев.

Использование значений относительных величин масс отрезков ствола позволяет оценить вертикальное строение стволовой массы деревьев, а также, при необходимости, составить таблицы значений искомым величин биомасс стволов при известных значениях массы не только пятого, но и других отрезков. Найденное техническое решение является сильным импульсом для развития этого направления и позволяет упро-

стить и ускорить составление более прогрессивных таблиц с весовыми показателями (вместо существующих объемных).

### **Литература**

Аткин А.С. Закономерности формирования органической массы в лесных сообществах: Автореф. дис. на соискание степени д.-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 1994. 40 с.

Пат. 22044455 РФ. Способ определения массы ствола дерева/ А.С.Аткин; от 16.04.91 г. Бюл. изобр. № 27, 1995 г.

Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Красн. книж. из-во, 1969. 155 с.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-ть, 1976. 160 с.