

УДК 630.52

Е. П. Смолоногов  
(Институт леса УрО РАН)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКОЛЬЗЯЩЕГО ДИАМЕТРА ПРИ МОРФОСТРУКТУРНОМ АНАЛИЗЕ ДРЕВОСТОЕВ

*Обоснована возможность таксационного показателя "скользящий диаметр" для широкого использования в таксационных, лесобииологических исследованиях и в практике лесного хозяйства.*

Представление о скользящем диаметре и возможности его использования для решения многих задач лесной таксации и лесоведения было обосновано автором ещё в 70-е годы (Смолоногов, 1967, 1970а и др.). Суть понятия "скользящего диаметра" состоит в следующем.

1. На пробной площади вырубается три (или больше) нормально развитых модельных дерева из тонко-, средне- и толстомерной частей древостоя. Объём древесины ствола каждого дерева по 1-2-метровым секциям, начиная от шейки корня. При работе с подростом, молодыми культурами секции берутся меньших размеров.

2. Вычисленный объём ствола  $V$  делится на его высоту  $h$ , в итоге получается усреднённый объём однометрового отрезка ствола - индекс объёма  $J$ . По размерности он равен усреднённой площади сечения  $g_c$  ствола. Если усреднённую площадь сечения принять за круг, то можно вычислить его диаметр, который и назван "скользящим"  $d_c$ , поскольку его положение по высоте у разных деревьев меняется.

$$\frac{V}{h} = J = \frac{m^3}{m} = m^2 = g_c; \quad g_c = \frac{\pi d_c^2}{4} = 0,785 d_c^2; \quad d_c^2 = g_c / 0,785 = 1,274 g_c;$$

$$d_c = \sqrt{1,274 g_c} = \sqrt{1,274 J} = \sqrt{1,274 V / h}.$$

3. Исследование связи между скользящими диаметрами и диаметрами на высоте груди - на высоте 1,3 м от шейки корня  $d$  - показали, что она практически прямолинейна и функциональна (коэффициент корреляции и корреляционное отношение колеблются в пределах 0,96-0,99). В соответствии с этим по фактическим замерам и вычислениям, показанным

выше, строится график зависимости между диаметрами на высоте груди и скользящими. Прямая проводится от руки или параметры уравнения прямой  $d_c = ad + b$  вычисляются. Положение прямой и фактических точек зависит только от правильности выбора моделей, точности замеров и вычислений.

Для проведения дальнейших расчетов в разных теоретических и прикладных целях необходимо построить кривую зависимости высот стволов от их диаметров по 15-20 замерам стоящих на корню деревьев или вырубленных хлыстов. Выравнивание и построение кривой высот целесообразно проводить в два приема. Сначала на графике проводится прямая, выравнивающая видовую высоту  $\frac{V}{g} = fh$  ;  $fh = ah + b$ ,

затем вычисляются высоты, при этом используется выравненное видовое число  $f$ , определение которого для дерева любого диаметра в древостое с использованием скользящего диаметра будет показано ниже.

Охарактеризованные положения и простейшие математические преобразования создают основу для дальнейшего использования скользящего диаметра в разных целях. Перечислим некоторые из них:

1. Объем ствола любого дерева в конкретном древостое или вырубленного хлыста можно определить, сняв с графика величину скользящего диаметра, измерив высоту стоящего на корню дерева или длину вырубленного хлыста  $L$ . В этих случаях делаются следующие вычисления:

$$V = 0,785 d_c^2 h; \quad V = 0,785 d_c^2 L.$$

2. Объем стволовой древесины по ступеням перелёта ( $V_{cm}$ ) можно вычислить по количеству деревьев в ступенях  $n$ , сняв величину скользящего диаметра и среднюю высоту с графиков или вычислив эти величины по уравнениям. Для вычислений используется следующая формула:

$$V_{cm} = 0,785 d_c^2 h n.$$

Общий запас древесины на конкретной пробе или участке определяется по сумме объемов древесины в ступенях:  $M = \sum V_{cm}$ .

3. В анализах морфоструктуры древостоев можно использовать скользящий коэффициент формы стволов ( $q_c$ ) и его изменения по перелётным ступеням диаметра:

$$q_c = d_c / d; \quad q_c = \frac{ad + b}{d} = a + \frac{b}{d};$$

4. Использование скользящего диаметра упрощает определение в конкретных древостоях старых видовых чисел  $f$  и любых других  $f_n$ , используемых в таксации. Для этого достаточно измерить диаметр стоящего дерева или вырубленного хлыста и снять с графика скользящий диаметр. Видовое число на скользящем диаметре  $f_c$  всегда равно 1,0, это очень важное свойство скользящего диаметра. Порядок вычислений следующий:

$$f = \frac{V_{\text{ствола}}}{V_{\text{цилиндра}}} = \frac{0,785d_c^2h}{0,785d^2h} = \frac{d_c^2}{d^2}; \quad f_n = \frac{0,785d_c^2h}{0,785d_n^2h} = \frac{d_c^2}{d_n^2}; \quad f_c = \frac{0,785d_c^2h}{0,785d_c^2h} = \frac{d_c^2}{d_c^2} = 1,0.$$

По указанной формуле старого видового числа легко устанавливается корреляционная связь видового числа с диаметрами на высоте груди:

$$f_c = \frac{d_c^2}{d^2} = \frac{(ad + b)^2}{d^2} = a^2 + \frac{2ab}{d} + \frac{b^2}{d^2};$$

$$\text{в общем виде } f = A + \frac{B}{d} + \frac{C}{d^2}.$$

Уравнение можно вывести с использованием скользящего коэффициента формы:

$$q_c = \frac{d_c}{d}; \quad f = \frac{d_c^2}{d^2} = q_c^2; \quad f = \left(a + \frac{b}{d}\right)^2 = a^2 + \frac{2ab}{d} + \frac{b^2}{d^2}.$$

Скользящий диаметр можно широко использовать при составлении разного рода таксационных таблиц при анализе характера изменчивости особей в лесных культурах, а также при изучении многих других аспектов лесоведения и лесоводства (Смолоногов, 1970 а, б; Смолоногов, 1998; Смолоногов и др., 1970).

Ниже рассматриваются некоторые аспекты использования скользящего диаметра на примере пробной площади 13, заложенной в Торекком лесхозе Тюменской области в 1972 г., со сплошной вырубкой деревьев и определением объема каждого ствола по 1-2-м секциям. Проба заложена в кедровнике северотаёжном, низкогорном, пологосклонном, зеленомошно-ягодниковом, восточного макросклона Северного Урала, тип лесорастительных условий ТЛУ-222 (Смолоногов, Поздеев, 1994). Площадь пробы 1,15 га, состав древостоя 6КЗЕ, ед. П,С,Лц,Б, средний возраст 279 лет, полнота по местной таблице 0,5 (Смолоногов и др., 1970). Общее количество Деревьев 653, из них кедров 193. Средний диаметр по кедров

30,4, средняя высота 16,8, бонитет V, общий запас 178,3 м<sup>3</sup> древостой послепожарный, сравнительно одновозрастный (76% деревьев в возрасте 260-300 лет). Возраст определялся на срезах пней с использованием луп 20-кратного увеличения.

В табл. 1 приведены исходные (невыровненные) таксационные показатели кедровой части древостоя, необходимые для дальнейших расчётов и анализа. В табл. 2 приведены запасы стволовой древесины, вычисленные разными способами, и погрешности вычислений в сравнении с контролем. Проанализированы следующие способы.

1-й способ. Запас определён по десяти модельным деревьям, взятым из каждой ступени толщины:

$$M = \sum V_{cm}; \quad V_{cm} = V_m \frac{g_{cm}}{g_m}.$$

2-й способ. Запас определён с использованием уравнения связи скользящего диаметра по тем же десяти модельным деревьям;

$$d_c = 0,675d + 1,54; \quad M = \sum V_{cm}; \quad V_{cm} = 0,785d_c^2 hn.$$

3-й способ. Запас определён по трём модельным деревьям, взятым из средней ступени перечета. Общий запас распределен по ступеням пропорционально площади сечений ступеней:

$$M = \sum V_m \frac{G_{np}}{\sum g_m}; \quad V_{cm} = M \frac{g_{cm}}{G_{np}}.$$

4-й способ. Запас определен с использованием уравнения связи скользящего диаметра по трём модельным деревьям, взятым из тонкомерной, средней и толстомерной части древостоя:

$$d_c = 0,675d + 1,86; \quad V_{cm} = 0,785d_c^2 hn; \quad M = \sum V_{cm}.$$

5-й способ. Запас определён с использованием видовых чисел (старых), вычисленных по уравнению связи скользящего диаметра, выведенного по десяти модельным деревьям;

$$d_c = 0,675d + 1,5;$$

$$f = \frac{d_c^2}{d^2}; \quad f = \frac{(0,675d + 1,5)^2}{d^2} = 0,455 + \frac{2,625}{d} + \frac{2,25}{d^2}.$$

Таблица 1

## Таксационная структура анализируемого древостоя кедра

Ступени диаметра	$d_{cp}$	$h_{cp}$	$d_c$	$g$	$n$	$V_{ст.}$	$M$
12	11,5	8,5	9,2	0,083	8	0,056	0,453
16	16,4	12,1	12,6	0,274	13	0,151	1,963
20	19,9	13,3	15,0	0,777	25	0,235	5,875
24	23,5	15,2	17,7	1,691	39	0,374	14,586
28	28,0	16,2	20,2	1,477	24	0,521	12,504
32	32,0	17,2	23,1	3,135	39	0,721	28,179
36	35,9	17,4	25,6	2,428	24	0,898	21,552
40	39,7	18,2	28,2	1,237	10	1,137	11,570
44	43,4	19,1	30,4	1,183	8	1,384	11,072
48	47,9	20,2	34,6	0,540	3	1,898	5,895
Итого				12,825	193		113,250

Таблица 2

## Запасы древесины, вычисленные разными способами

Ступени диаметра	Контр. запас, м <sup>3</sup>	1	2	3	4	5		6	
		м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	f	м <sup>3</sup>	f	м <sup>3</sup>
12	0,453	0,408	0,480	0,698	0,506	0,640	0,450	0,659	0,455
16	1,963	1,737	1,776	2,336	1,796	0,591	1,774	0,598	1,884
20	5,875	6,271	5,772	6,617	5,872	0,566	5,867	0,562	5,808
24	14,586	15,078	14,195	14,392	14,080	0,544	14,194	0,539	13,480
28	12,504	12,079	12,701	12,557	12,552	0,531	12,705	0,523	12,514
32	28,179	27,875	28,098	26,686	27,576	0,521	28,093	0,511	27,554
36	21,552	21,908	22,579	20,669	22,072	0,513	22,420	0,502	21,29
40	11,370	12,460	10,644	10,526	11,56,2	0,507	11,665	0,494	11,366
44	11,072	10,329	11,676	10,123	11,355	0,503	11,365	0,489	11,049
48	5,695	5,507	5,304	4,586	5,200	0,498	5,324	0,484	5,175
Итого	113,25	113,65	113,22	109,19	112,54	113,85	111,24	111,24	98,22
%	100,00	100,11	100,03	96,40	99,73	100,53	98,22	98,22	98,22

Ошибки %

Систематич	-1,06	-1,12	-1,7	-0,10	-0,98	-0,57
Случайная	±7,20	±5,76	±11,02	±5,72	±4,30	±3,20
Средняя	±2,28	±1,80	±3,67	±1,81	±1,36	±1,01



6-й способ, Запас определен с использованием видовых чисел, вычисленных по уравнению связи скользящего диаметра, выведенного по трём модельным деревьям:

$$d_c = 0,675d + 1,86;$$

$$f = \frac{d_c^2}{d^2}; \quad f = \frac{(0,675d + 1,86)^2}{d^2} = 0,455 + \frac{2,444}{d} + \frac{3,46}{d^2}.$$

Результаты вычислений, приведённые в табл. 2, свидетельствуют о том, что наиболее точные показатели запаса и его распределения по ступеням толщины получены по второму, четвёртому, пятому и шестому способам, т. е. с использованием скользящего диаметра. Неплохие результаты дал 1-й способ - при определении запаса по десяти модельным деревьям, взятым в каждой ступени толщины. Неудачным оказался способ вычисления по трём модельным деревьям из средней ступени толщины, особенно его распределение по ступеням. Это говорит о том, что связь между площадями сечений в ступенях и запасами более сложная, зависит от кривой распределения деревьев и изменений видовых чисел по ступеням диаметра. Между тем этот способ рекомендуется всеми инструкциями и указаниями по таксации, широко используется он в лесохозяйственной практике. Наоборот, использование уравнения связи скользящего диаметра, выведенного по трем модельным деревьям, взятым из тонкомерной, средней и толстомерной части древостоя, дало хорошие результаты. Ошибка вычисленного общего запаса составила - 0,63%, систематическая по ступеням всего -0,1%, случайная (среднеквадратическая)  $\pm 5,7\%$ , средняя в ступенях  $\pm 1,8\%$ . Высокая точность получена также с использованием видовых чисел, вычисленных по уравнениям связи скользящего диаметра (пятый, шестой способы).

В табл. 3 приведены результаты вычислений запаса по 19 вырубленным хлыстам (каждый 10-й из 193). Вычисления сделаны по первому и второму уравнениям связи скользящего диаметра, выведенным соответственно по десяти и трём модельным деревьям. Как видим, общий запас вычислен с ошибками 2,4 и 1,25%, при случайных в пределах  $\pm 8,8 - \pm 10,28\%$ , и средней от  $\pm 2,02$  до 2,36%, или в абсолютном выражении от 0,20 до 0,23 м<sup>3</sup>.

### Выводы

1. Рекомендуемый сравнительно новый таксационный показатель обладает рядом свойств, позволяющим широко его использовать в таксационных и лесобиологических исследованиях, а также в практике лесного хозяйства.

2. Рекомендуемый показатель позволяет с высокой точностью определять объём стволовой древесины, любых видовых чисел растущих деревьев и вырубленных хлыстов в конкретных древостоях минимально по трём модельным деревьям, взятым из тонкомерной, средней и толстомерной части древостоев.

3. Скользящие диаметр можно успешно использовать при составлении разного рода таксационных таблиц (объёмных, сортиментно-сортных и др.).

4. Скользящий диаметр и вычисленные на его основе коэффициенты формы и видовые числа позволяют выявлять характер корреляционных связей и особенности между структурными параметрами древостоев и расчленять их на контрастные части или совокупности, математически увязанные в зависимости от типов лесорастительных условий, продуктивности, возрастной и пространственной структуры, восстановительной и возрастной динамики.

#### ЛИТЕРАТУРА

Смолоногов Е.П. Некоторые закономерности изменчивости видовых чисел по ступеням толщины в сосновых и темнохвойно-кедровых древостоях равнинного Зауралья // Итоги изучения лесов Дальнего Востока. Владивосток, 1967. С. 136-139.

Смолоногов Е.П. Использование размерности деревьев в древостоях для диагностики типов леса // Экология. 1970 а. N 1. С.50-60.

Смолоногов Е.П. О некоторых закономерностях строения простых и сложных древостоев // Динамика и строение лесов на Урале. Свердловск, 1970 б. С. 99-126.

Смолоногов Е. П. Наиболее точный способ определения запаса стволовой древесины в древостоях. // Лесн. хоз-во. 1998. № 5. С. 38-40.

Смолоногов Е.П., и др. Справочные таблицы для таксации лесов северной и средней тайги Западной Сибири. Свердловск, 1970. 100 с.

Смолоногов Е.П., Поздеев Е.Г. Организационные основы ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург, 1994. 106 с.