

# Упрощённый метод определения диаметров нижней части деревьев берёзы повислой (*Betula pendula* L.) в условиях Средней Сибири

А.А. Вайс, к.с.-х.н, Сибирский ГТУ

Проблема незаконных рубок, необходимость восстановления срубленного запаса, вычисление объёма крупного детрита приобретают в последние годы особую актуальность. В связи с этим изучение соотношения диаметров комлевой части стволов и диаметров на высоте груди имеет особую важность.

В вопросе соотношения диаметров комлевой части деревьев определяющее значение имела высота пня. Существующие нормативы применяют разные методические подходы. В одних таблицах диаметры измеряют у шейки корня [1], в других – на высоте 20–25 см от основания почвы [2], в третьих – высота пня принималась равной одной трети величины диаметра на высоте груди [3]. Указания по освидетельствованию мест рубок предусматривают штрафные санкции за завышение величины крупного детрита. Высота пней измеряется от поверхности почвы, а при обнаружении корней – от корневой шейки. Нарушением считается оставление пней высотой более одной трети диаметра среза, а при рубке деревьев тоньше 30 см – высотой более 10 см [4]. Е.А. Усс [5] для основных древесных пород Республики Беларусь разработал нормативы по установлению диаметров на высоте груди на основании диаметров на высоте пня с точностью последующего определения запаса  $\pm 15\%$ .

Основой всех разработанных нормативов являлась линейная регрессия, что позволяет не только прогнозировать выходную переменную, но и получить оценку уравнения.

**Программа и методика исследований.** Цель данной работы – применение одинарных коэффициентов в моделях для перехода к диаметрам нижней части ствола. Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи:

- вычислить линейные уравнения с одинарным коэффициентом для перехода к диаметрам основания деревьев (до 1,3 м);
- на основе регрессионного анализа выявить факторы, значимо влияющие на коэффициенты уравнения;
- оценить ошибки однокоэффициентных моделей.

В основу исследований положены данные обмеров учётных моделей берёзы, собранных по ступеням толщины из следующих муниципальных районов [6]: Асиновского Томской области; Эхирит-Булагатского Иркутской области; Боль-

шемуртинского и Емельяновского Красноярского края. Общее количество моделей – 678 шт. На основании этих данных в пакете Microsoft Excel выполнен расчёт линейных уравнений с учётом прямой в точке 0, т.е. коэффициент  $a = 0$  уравнения  $di = a + b \cdot dj \Rightarrow di = b \cdot dj$ . Недостатком упрощённого метода является обратная зависимость коэффициента  $a$  от диаметра дерева, что при малых величинах толщины приводит к формированию незначительной ошибки:

$$d_{1,3} = a + b \cdot d_{\text{п}} \Rightarrow 1 = +b \cdot \frac{d_{\text{п}}}{d_{1,3}}; \quad (1)$$

$$d_{\text{п}} = a + b \cdot d_{1,3} \Rightarrow 1 = +b \cdot \frac{d_{1,3}}{d_{\text{п}}}. \quad (2)$$

Результаты подробного анализа двухкоэффициентных линейных моделей приведены нами ранее [7]. По отдельным пробным площадям коэффициент  $a$  варьировал от  $-15,7$  до  $14,16$ . Величина систематической ошибки для ступени 8 см не превышала 0,4 см, а для 36 см – 0,1 см. Очевидно, что этой величиной можно пренебречь.

Преимуществом одного коэффициента является повышение адекватности модели и упрощённая биологическая интерпретация. На значение ошибки, как было доказано выше, коэффициент  $a$  оказывает незначительное влияние. Достоверность уравнения при этом возрастает в значительной степени. В результате получаем адекватные уравнения при меньшем объёме значений переменных. Таблица 1 демонстрирует разницу в уровне адекватности (коэффициенте корреляции) и величине ошибки двух- и однокоэффициентных уравнений.

Действительная величина ошибки в среднем не превысила 0,2 см, в единичных случаях может возрастать до 1,5 см при использовании однокоэффициентных уравнений. Адекватность моделей возрастала в значительной степени.

Таким образом, применение упрощённого линейного уравнения повышает достоверность и адекватность соотношения диаметров на высоте груди и на высоте пня.

**Результаты и их обсуждение.** С помощью регрессионного анализа получены параметры линейных моделей для березняков из различных районов (табл. 2).

В таблице 3 представлены лимиты коэффициентов, систематизированные по административным районам.

1. Параметры моделей  $d_{1,3} = a + b \cdot d_{\text{п}}$  и  $d_{1,3} = b \cdot d_{\text{п}}$ 

Модель				Разница, см $\Delta = m_2 - m_1$	Разница $\Delta = R_2 - R_1$
$d_{1,3} = a + b \cdot d_{\text{п}}$		$d_{1,3} = b \cdot d_{\text{п}}$			
$R_1$	$m_1$	$R_2$	$m_2$		
0,924	1,60	0,994	1,62	+0,02	+0,070
0,975	2,18	0,997	2,30	+0,12	+0,022
0,979	1,92	0,998	1,90	-0,02	+0,019
0,983	2,27	0,998	2,11	-0,16	+0,015
0,973	2,11	0,998	2,17	+0,06	+0,015
0,983	1,95	0,997	1,96	+0,01	+0,014
0,976	2,06	0,997	2,05	-0,01	+0,021
0,970	2,39	0,993	2,53	+0,14	+0,023
0,843	0,87	0,998	1,19	+0,32	+0,155
0,686	1,09	0,992	2,56	+1,47	+0,306
0,585	0,98	0,992	1,62	+0,64	+0,407
0,961	1,34	0,994	1,33	-0,01	+0,033
0,934	2,19	0,991	2,16	-0,03	+0,057
0,936	1,41	0,996	1,43	+0,02	+0,060
0,979	1,60	0,996	1,53	-0,07	+0,017
0,977	1,66	0,996	1,62	-0,04	+0,019
0,902	1,69	0,992	1,76	+0,07	+0,090
0,898	3,62	0,988	3,58	-0,04	+0,090
0,965	2,08	0,996	2,13	-0,05	+0,031
0,980	1,53	0,993	1,71	+0,18	+0,013
0,934	2,07	0,995	2,20	+0,13	+0,061
0,980	1,50	0,996	1,62	+0,12	+0,016
0,970	2,39	0,993	2,53	+0,14	+0,023

Примечание:  $R_1, R_2$  – коэффициенты корреляции;  $m_1, m_2$  – основная ошибка

2. Параметры моделей  $d_{1,3} = b \cdot d_{\text{п}}$  и  $d_{\text{п}} = b \cdot d_{1,3}$ 

Муниципальный район исследований	Параметр модели			
	$d_{1,3} = b \cdot d_{\text{п}}$		$d_{\text{п}} = b \cdot d_{1,3}$	
	$b$	$R^2$	$b$	$R^2$
Асиновский	0,738	0,998	1,349	0,998
	0,729	0,992	1,350	0,992
	0,815	0,992	1,207	0,992
Большемуртинский	0,709	0,994	1,392	0,994
	0,753	0,991	1,366	0,991
	0,744	0,996	1,333	0,996
	0,750	0,996	1,333	0,996
	0,804	0,996	1,235	0,996
	0,813	0,992	1,210	0,992
	0,760	0,988	1,284	0,988
	0,762	0,996	1,303	0,996
	0,787	0,993	1,261	0,993
	0,760	0,995	1,293	0,995
	0,762	0,996	1,302	0,996
Емельяновский (левый берег Енисея)	0,775	0,993	1,272	0,993
	0,788	0,997	1,262	0,997
	0,834	0,998	1,195	0,998
	0,867	0,998	1,150	0,998
Емельяновский (правый берег Енисея)	0,835	0,998	1,193	0,998
	0,840	0,997	1,185	0,997
	0,815	0,997	1,219	0,997
Эхирит-Булагатский	0,664	0,994	1,489	0,994

Примечание:  $b$  – коэффициент линейного уравнения, определяющий угол наклона прямой линии;  $R^2$  – показатель уровня детерминации модели

На основе данных таблицы 3 были разработаны нормативы по определению диаметров стволов на высоте груди и на высоте пня по ступеням толщины (табл. 4).

Для вычисления коэффициента  $b$  можно рекомендовать использовать следующие уравнения:

$$b = 0,963 - 0,115 \cdot q_0, \quad (3)$$

$(R = 0,582; m = 0,04; F_p > F_m; p_{a,b} < 0,05);$

$$b = -2,239 \cdot q_0^3 + 11,343 \cdot q_0^2 - 19,006 \cdot q_0 + 11,284, \quad (4)$$

$(R^2 = 0,608),$

где  $b$  – коэффициент линейного уравнения  $d_{1,3} = b \cdot d_n$ ;  
 $q_0$  – среднее значение нулевого коэффициента.

С целью прикладного использования модели в древостое глазомерно подбирают дерево со средним диаметром на высоте груди и на высоте пня. Измеряют диаметры, вычисляют нулевой коэффициент формы и определяют значение коэффициента  $b$ . Алгоритм вычисления представлен в виде схемы (рис.)

3. Лимиты коэффициента  $b$  для линейных моделей по районам исследований (берёза повислая)

Район исследований	$d_{1,3} = b \cdot d_n$	$d_{1,3} = b \cdot d_n$
Томская область (ТО)	0,73–0,82	1,21–1,35
Красноярский край (КК)	0,71–0,87	1,15–1,39
Иркутская область (ИО)	0,66	1,49

4. Нормативная таблица определения диаметров по ступеням толщины

Ступень толщины, см	Район исследований					
	ТО		КК		ИО	
	$d_{1,3}$	$d_n$	$d_{1,3}$	$d_n$	$d_{1,3}$	$d_n$
8	5,8–6,6	9,7–10,8	5,7–7,0	9,2–11,1	5,3	11,9
12	8,8–9,8	14,5–16,2	8,5–10,4	13,8–16,7	7,9	17,9
16	11,7–13,1	19,4–21,6	11,4–13,9	18,4–22,2	10,6	23,8
20	14,6–16,4	24,2–27,0	14,2–17,4	23,0–27,8	13,2	29,8
24	17,5–19,7	29,0–32,4	17,0–20,9	27,6–33,4	15,8	35,8
28	20,4–23,0	33,9–37,8	19,9–24,4	32,2–38,9	18,5	41,7
32	23,4–26,2	38,7–43,2	22,7–27,8	36,8–44,5	21,1	47,7
36	26,3–29,5	43,6–48,6	25,6–31,3	41,4–50,0	23,8	53,6
40	29,2–32,8	48,4–54,0	28,4–34,8	46–55,6	26,4	59,6
44	32,1–36,1	53,2–59,4	31,2–38,3	50,6–61,2	29,0	65,6
48	35,0–39,4	58,1–64,8	34,1–41,8	55,2–66,7	31,7	71,5
52	38,0–42,6	62,9–70,2	36,9–45,2	59,8–72,3	34,3	77,5

Примечание: ступень толщины – это диаметр ствола на высоте пня или на высоте груди

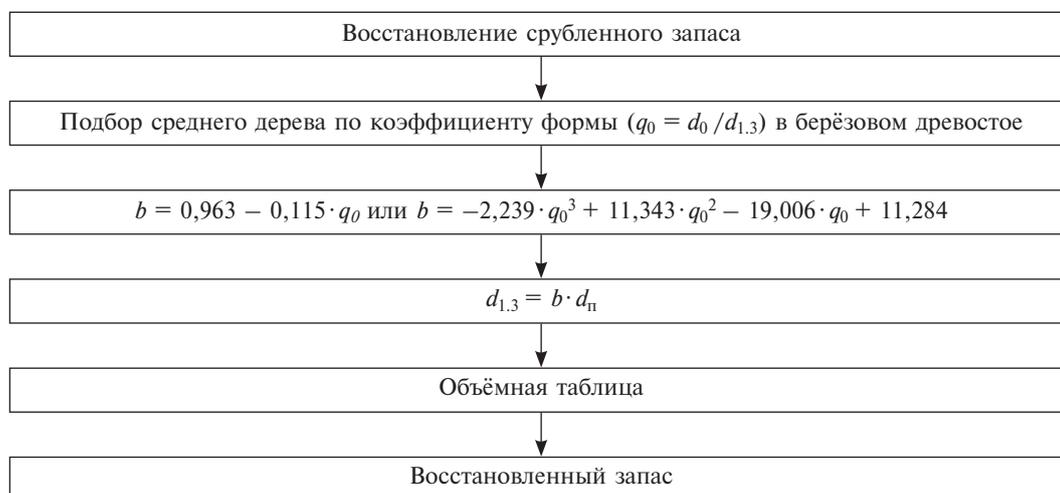


Рис. – Схема этапов восстановления срубленного запаса

**Выводы.** Результаты исследований сводятся к следующему.

– Использование линейного уравнения без свободного коэффициента повышает адекватность и достоверность модели. Незначительная величина систематической ошибки значимо проявляется только для тонкомерных деревьев и составляет не более 0,4 см.

– Применение группировки коэффициентов позволило разделить их по административным районам: Томская область, Красноярский край, Иркутская область.

– Разработанные нормативы характеризуются гибкостью, поскольку в них указан диапазон значений выходной переменной (диаметров на высоте груди и диаметров на высоте пня) по ступеням толщины. Это детализирует данные по конкретным лесорастительным условиям.

– Применительно к деревьям берёзы повислой (*Betula pendula* L.) в условиях Сибири получены

линейные уравнения вычисления коэффициента  $b$  для определения диаметров на высоте 1,3 м.

### Литература

1. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР / отв. ред. В.В. Загреб. Архангельск: Из-во Арханг. ин-та леса и лесохимии, 1986. 357 с.
2. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. Л.: Гослесбумиздат, 1952. 852 с.
3. Марцинковский Л.А. О зависимости между диаметрами деревьев лиственницы на высоте пня и на высоте груди // Лиственница: сб. науч. трудов. Красноярск: СТИ, 1964. №39. С. 15–17.
4. Указания по освидетельствованию мест рубок, подсадки (осмолоподсадки), насаждений и заготовки второстепенных лесных материалов. Утв. пр. Госкомитета СССР по лесн. хоз-ву от 01.11.1983 № 130. М., 1984. 37 с.
5. Усс Е.А. К вопросу определения запасов вырубленной древесины на лесосеке по пням [Электронный ресурс]. URL: [http://science-bsea.narod.ru/2012/les\\_2012/uss\\_vopros.htm](http://science-bsea.narod.ru/2012/les_2012/uss_vopros.htm). 7.05.2012.
6. Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации // Приказ МПР РФ от 28 марта 2007 г. № 68. 12 с.
7. Вайс А.А. Нормативы для редукации срубленных запасов берёзовых насаждений (*Betula pendula* L.) в условиях Средней Сибири // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1(33). С. 21–23.