

9. Filiptsova G.G., Smolich I.I. Biokhimiya rasteniy: metodicheskie rekomendatsii. – Minsk: BGU, 2004. – S. 6-7.

10. Zolotukhin A.I., Gorina P.A. Soderzhanie svobodnogo prolina v khvoe sosny oslablennykh nasazhdeniy rekreatsionnoy zony g. Balashova // Nauchnoe obozrenie. – 2013. – № 3. – S. 25-29.

11. Galibina N.A., Tselishcheva Yu.L., Andreev V.P., Sofronova I.N., Nikerova M. Aktivnost peroksidazy v organakh i tkanyakh derevev berezy povisloy // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2013. – № 4 (133). – S. 7-13.

12. Zaripova R.S., Kuzmin P.A. Osobennosti fenologii i fiziologo-biokhimicheskie

kharakteristiki Betula pendula (Betulaceae) v usloviyakh g. Naberezhnye chelny (respublika Tatarstan) // Rastitelnye resursy. – 2016. – Т. 52. – № 1. – S. 124-134.

13. Simonova Z.A., Chemarkin D.A. Aktivnost peroksidazy Betula pendula kak indikator kachestva gorodskoy sredy (na primere g. Caratova) // Fundamentalnye issledovaniya. – 2013. – № 8 (5). – S. 1097-1101. Rezhim dostupa: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32091>.

14. Tsandekova O.L., Neverova O.A. Osobennosti antioksidantnoy sistemy Betula pendula Roth., proizrastayushchey v usloviyakh porodnogo otvala Kedrovskogo ugolnogo razreza // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 9. – S. 58-64.



УДК 630*521.3

A.A. Vayc
A.A. Weiss

**УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАМЕТРОВ
НИЖНЕЙ ЧАСТИ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*Picea obovata* L.)
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

**SIMPLIFIED METHOD TO DETERMINE LOWER PART DIAMETERS
OF SIBERIAN SPRUCE (*PICEA OBOVATA* L.)
UNDER THE CONDITIONS OF CENTRAL SIBERIA**

Ключевые слова: диаметр, модель, *Picea obovata* L., восстановленный запас.

Проблема незаконных рубок, необходимость восстановления срубленного запаса, вычисление объема крупного детрита приобретают в последние годы особую актуальность. В основу исследований были положены данные обмеров учетных моделей ели, собранных по ступеням толщины из Тасеевского, Дзержинского, Большемурутинского, Казачинского, Абанского муниципальных районов Красноярского края. Общее количество моделей – 980 шт. Целью работы является применение одинарных коэффициентов для перехода к диаметрам нижней части ствола. Преимуществами одного коэффициента являются повышение адекватности модели и упрощенная биологическая интерпретация. Достоверность уравнения при

этом возрастает в значительной степени. Незначительная величина систематической ошибки значительно проявляется только для тонкомерных деревьев и составляет не более 1,4 см. 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 позволяет детализировать данные по конкретным лесорастительным условиям. Применительно к деревьям ели в условиях Сибири получено линейное множественное уравнение вычисления коэффициента **b** для определения диаметров на высоте 1,3 м. Предложены упрощенные линейные уравнения по переходу от диаметров стволов на точке рубки к диаметрам на высоте груди. Модели используются для восстановления срубленных запасов насаждений ели в различных районах Сибири.

Keywords: diameter, model, *Picea obovata* L., restored stock.

The problem of illegal felling, need of restoration of the felled stock, and the calculation of large detritus volume are of special relevance in the recent years. The research was based on the measurement data of Siberian spruce sample trees collected according to diameter classes from the Taseyevskiy, Dzerzhinskiy, Bolshemurtinskiy, Kazachinskiy and Abanskiy municipal districts of the Krasnoyarsk Region. There were 980 sample trees altogether. The research goal is the application of single coefficients for transition to diameters of the lower part of a trunk. The advantage of single coefficient is increased adequacy of model and simplified biological

interpretation. Equation certainty increases considerably. Insignificant size of a systematic error is significantly shown only for thin trees and makes no more than 1.4 cm. The developed standards are characterized by flexibility as the range of output variable values (chest chest-high diameter and diameter at stump height) according to diameter classes is specified. This enables to extend the data of specific forest growing conditions. As applied to spruce trees under the conditions of Siberia, linear multiple equation for calculating coefficient *b* to determine diameters at the height of 1.3 m was derived. The simplified linear equations on transition from diameters of trunks at cutting point to chest chest-high diameters are proposed. Models are used to restore the cut stocks of spruce in different areas of Siberia.

Вайс Андрей Андреевич, д.с.-х.н., проф., каф. лесной таксации, лесоустройства и геодезии, Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. Тел.: (391) 227-54-32. E-mail: vais6365@mail.ru.

Weiss Andrey Andreyevich, Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Forest Assessment, Management and Geodesy, Siberian State Aerospace University named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. Ph.: (391) 227-54-32. E-mail: vais6365@mail.ru.

Введение

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

В вопросе соотношения диаметров комлевой части деревьев определяющее значение имеет 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 последующих высота пня принималась равной одной трети величины диаметра на высоте груди [3]. «Указание по освидетельствованию мест рубок» предусматривает 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]. В.Ф. Кишенков, А.А. Солом-

ников, А.А. Касацкий установили, что у деревьев ели Брянской области высота пня практически не влияла на восстановленный запас – расхождение составило не более 1,5% [5]. При этом ель обыкновенная формирует поверхностную корневую систему.

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

Программа и методика исследований

Целью работы является применение одинарных коэффициентов 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 были положены данные обмеров учетных моделей ели, собранных по ступеням толщины из Тасеевского, Дзержинского, Большемуртинского, Казачинского, Абанского муниципальных районов Красноярского края [6]. Общее количество моделей – 980 шт. На основании этих данных в пакете «Microsoft Excel» был выполнен расчет линейных уравнений с учетом прямой в точке 0, то есть коэффициент $a = 0$ уравнения $d_i = a + b \cdot d_j \Rightarrow d_i = b \cdot d_j$. Недостатком упрощенного метода является обратная зависимость коэффициента a от диаметра дерева, что при малых величинах толщины приводит к формированию незначительной ошибки:

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

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

Подробный анализ двухкоэффициентных линейных моделей представлен в статье [8]. По отдельным пробным площадям коэффициент a варьировал от 10,96 до -3,67. Величина систематической ошибки для ступени 8 см не превысит 1,4 см, а для 36 см – 0,3 см.

Преимуществами одного коэффициента являются повышение адекватности модели и упрощенная биологическая интерпретация. Достоверность уравнения при этом возрастает в значительной степени.

Результаты и их обсуждение

С помощью регрессионного анализа были получены параметры линейных моделей для ельников из различных районов (табл. 1).

На основе данных таблицы 2 разработаны нормативы по определению диаметров стволов на высоте груди и на высоте пня по ступеням толщины (табл. 3).

Для вычисления коэффициента b можно рекомендовать использовать следующее уравнение:

$$b = 0,986 - 0,150 \cdot q_0, \quad (3)$$

$(R = 0,588; m = 0,04; F_p > F_T; p_{a,b,c} < 0,05),$

где b – коэффициент линейного уравнения $d_{1,3} = b \cdot d_n$;

q_0 – среднее значение нулевого коэффициента;

d_n – средний диаметр на высоте пня, см.

Таблица 1
Параметры моделей $d_{1,3} = b \cdot d_n$ и $d_n = b \cdot d_{1,3}$

Район исследований	Параметры модели			
	$d_{1,3} = b \cdot d_n$		$d_n = b \cdot d_{1,3}$	
	b	R ²	b	R ²
Дзержинский муниципальный	0,711	0,988	1,391	0,988
	0,785	0,990	1,260	0,990
	0,782	0,994	1,271	0,994
Большемуртинский муниципальный	0,789	0,983	1,246	0,983
	0,729	0,987	1,355	0,987
	0,747	0,992	1,328	0,992
	0,650	0,987	1,519	0,987
	0,688	0,985	1,432	0,985
	0,745	0,993	1,333	0,993
	0,761	0,992	1,303	0,992
	0,755	0,993	1,316	0,993
Казачинский муниципальный	0,740	0,990	1,338	0,990
	0,710	0,988	1,391	0,988
	0,692	0,988	1,427	0,988
Тасеевский муниципальный	0,652	0,988	1,516	0,988
	0,782	0,985	1,260	0,985
	0,612	0,971	1,586	0,971
Абанский муниципальный	0,648	0,979	1,511	0,979
	0,739	0,992	1,343	0,992
	0,672	0,981	1,459	0,981
	0,656	0,995	1,518	0,995
	0,633	0,989	1,563	0,989

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

Таблица 2
Лимиты коэффициента b для линейных моделей по районам исследований (ель сибирская)

Район исследований	$d_{1,3} = b \cdot d_n$	$d_n = b \cdot d_{1,3}$
	b	b
Красноярский край (КК)	0,61-0,79	1,25-1,59

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.).

Таблица 3
Нормативная таблица определения диаметров по ступеням толщины

Ступень толщины, см	Район исследований	
	Красноярский край	
	$d_{1,3}$	d_n
1	2	3
8	4,9-6,3	9,7-19,7
12	7,3-9,5	14,9-19,0
16	9,8-12,6	19,9-25,4
20	12,2-15,8	24,9-31,7
24	14,7-18,9	29,9-38,1
28	17,1-22,1	34,9-44,4
32	19,6-25,2	39,9-50,8
36	22,0-28,4	44,9-57,1
40	24,5-31,6	49,8-63,4
44	26,9-34,7	54,8-69,8
48	29,4-37,9	59,8-76,1
52	31,8-41,0	64,8-82,5
56	34,3-44,2	69,8-88,8
60	36,7-47,3	74,8-95,2
64	39,2-50,5	79,7-101,5
68	41,6-53,7	84,7-107,8

Примечание. Ступень толщины – это диаметр ствола на высоте пня или на высоте груди.

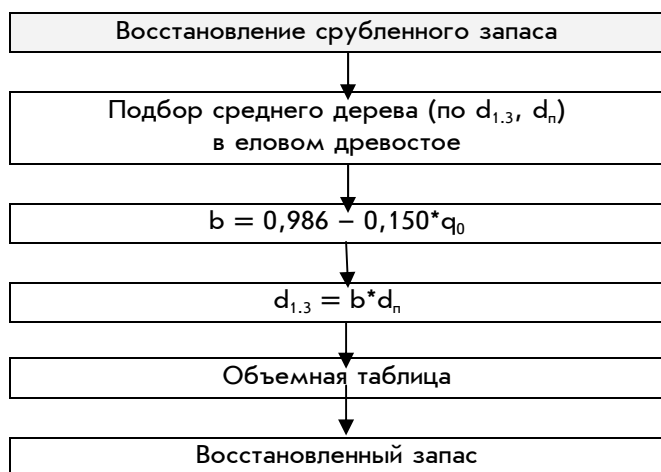


Рис. Схема этапов восстановления срубленного запаса

Выводы

Использование линейного уравнения без свободного коэффициента позволяет повысить адекватность и достоверность модели. Незначительная величина систематической ошибки значимо проявляется только для тонкомерных деревьев и составляет не более 1,4 см.

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 позволяет детализировать данные по конкретным лесорастительным условиям.

Применительно к деревьям ели в условиях Сибири получено линейное регрессионное уравнение вычисления коэффициента **b** для определения диаметров на высоте 1,3 м.

Библиографический список

1. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР / отв. ред. В.В. Загреев; Арханг. лесотехн. ун-т. – Архангельск: Изд-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. тр. – Красноярск: СТИ. – 1964. – № 39. – С. 15-17.
4. Указания по освидетельствованию мест рубок, подсочки (осмолоподсочки) насаждений и заготовки второстепенных лесных материалов. – Утв. пр. Госкомитета СССР по лесному хоз-ву от 01.11.1983, № 130. – М., 1984. – 37 с.
5. Кишенков Ф.В., Соломников А.А., Касацкий А.А. Исследование сбежистости комлевой части стволов ели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science-bsea.narod.ru/2007/leskomp-2007/kishenkov-iss.htm>.

6. Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации // Пр. МПР РФ от 28 марта 2007 г. № 68. – 12 с.

7. Вайс А.А. Толщина коры нижней части деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 7. – С. 44-47.

8. Вайс А.А. Нормативы для восстановления срубленных запасов сосновых древостоев (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 11. – С. 136-140.

References

1. Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severo-vostoka evropeyskoy chasti SSSR / Arkhang. lesotekh. un-t; otv. red. V.V. Zagreev. – Arkhangelsk: Iz-vo Arkhang. in-ta lesa i lesokhimii, 1986. – 357 s.

2. Tret'yakov N.V., Gorskiy P.V., Samoylovich G.G. Spravochnik taksatora. – L.: Goslesbumizdat, 1952. – 852 s.

3. Martsinkovskiy L.A. O zavisimosti mezhdia diametrami derevev listvennitsy na vysote pnya i na vysote grudi // Listven-

nitsa: sb. nauch. tr. – Krasnoyarsk: STI. – 1964. – № 39. – S. 15-17.

4. Ukazaniya po osvidetelstvovaniyu mest rubok, podsochki (osmolopodsochki) nasazhdeniy i zagotovki vtorostepennykh lesnykh materialov. – Utv. pr. Goskomiteta SSSR po lesn. khoz-vu ot 01.11.1983, № 130. – M., 1984. – 37 s.

5. Kishenkov F.V., Solomnikov A.A., Kasatskiy A.A. Issledovanie sbezhistosti komplevoy chasti stvolov eli [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://science-bsea.narod.ru/2007/leskomp_2007/kishenkov_iss.htm.

6. Ob utverzhdenii perechnya lesorastitel'nykh zon i lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii // Pr. MPR RF ot 28 marta 2007 g. № 68. – 12 s.

7. Vays A.A. Tolshchina kory nizhney chasti derev'ev sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh Sredney Sibiri // Vestnik KrasGAU. – 2009. – № 7. – S. 44-47.

8. Vays A.A. Normativy dlya voss-tanovleniya srublennykh zapasov sosnovykh drevostoev (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh Sredney Sibiri // Vestnik KrasGAU. – 2009. – № 11. – S. 136-140.

