

УДК 502/504: 630\*524.2:519.2

**В.В. ЗАВАРЗИН, А.В. ЛЕБЕДЕВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## **К МЕТОДИКЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕМА СТВОЛОВ НА ПРИМЕРЕ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA*)**

*Исследование проводилось с целью отбора и обоснования моделей, наилучшим образом описывающих зависимость объема от диаметра на высоте груди и высоты ствола. В общей сложности в работе использованы сведения о 689 модельных деревьях сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*), отобранных на Среднем Урале, в Западной и Восточной Сибири. В результате анализа источников литературы для анализа были выбраны 16 видов математических моделей. Значения параметров моделей определялись методом наименьших квадратов. Оценка качества моделей проводилась по таким показателям, как коэффициент детерминации ( $R^2$ ), скорректированный коэффициент детерминации ( $adj. R^2$ ), среднеквадратическая ошибка ( $MSE$ ) и информационные критерии ( $AIC$  и  $BIC$ ). Широко применяемые в лесном хозяйстве модели в логарифмическом масштабе, которые часто используются для моделирования объема стволов и биомассы деревьев, оказались несколько хуже моделей, в которых отклик используется в исходном масштабе, несмотря на то, что в логарифмическом спрямленном признаковом пространстве модели характеризуются высоким значением коэффициент детерминации ( $R^2 = 0,997$ ). Значение  $MSE$  для моделей, отобранных в качестве лучших, составляет 0,0023, а для моделей с логарифмическим преобразованием  $MSE$  в исходном масштабе находится в диапазоне от 0,0027 до 0,0029. Для сравнения качества моделей рекомендуется использовать не только коэффициент детерминации, но также и информационные критерии. Выявленные в работе закономерности могут быть положены в основу новых лесотаксационных нормативов, а предлагаемые методические подходы могут использоваться при моделировании объема стволов других древесных пород.*

*Объем ствола, сосна сибирская кедровая, кедр, инвентаризация лесов, моделирование, коэффициент детерминации, информационный критерий.*

**Введение.** Точность оценки объемов стволов и, как следствие, точность определения запаса стволовой древесины всегда были одной из главных задач лесной таксации. В СССР большое внимание ведению лесного хозяйства в кедровых лесах стало уделяться в 1930-е годы. В связи с этим возникла необходимость составления объемных таблиц, так как возросли требования к учету запасов кедровой древесины. Применяемые до этого нормативы по сосне и ели приводили к ошибкам при определении объемов стволов кедра, достигающих в отдельных случаях 30-50%.

Большое количество лесотаксационных нормативов для определения объемом

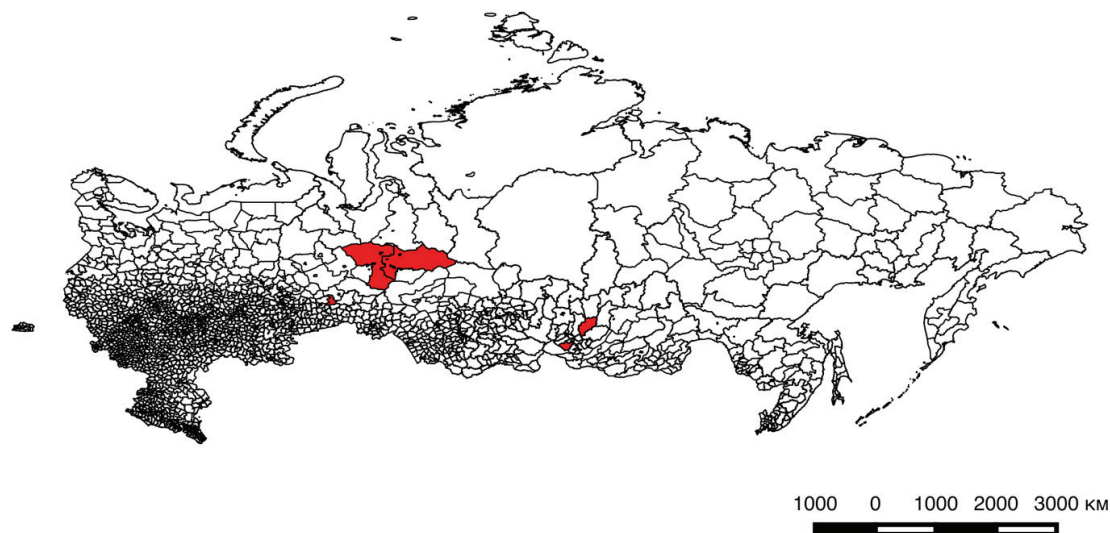
стволов кедра составлены методом графического выравнивания. Существенный вклад в разработку объемных таблицы стволов кедра внесли Н.В. Третьяков, П.В. Горский, В.Е. Шульц [1], Н.П. Анучин [2], И.А. Нахабцев [3], А.Д. Дударев, Н.Г. Косарев, М.С. Липчанский, В.Я. Сивков [4], И.В. Семечкин [5], В.В. Заварзин, А.В. Лебедев [6] и др.

Повысить точность нормативов можно, применяя математические и статистические методы, которые позволяют с использованием сравнительно небольшого количества наблюдений, отобранных из всей популяции, получать адекватные прогностические модели [7].

**Целью исследования** является моделирование объема стволов сосны кедровой сибирской (*Pinussibirica*), отбор и обоснование лучших моделей, описывающих зависимость объема от диаметра ствола на высоте груди и высоты ствола.

**Материалы и методы.** Данные о морфометрических характеристиках стволов сосны кедровой сибирской, использующиеся в работе, получены в результате проведения лесоустроительных работ на территории Иркутской области (Жигаловский и Черемхов-

ский районы – Восточная Сибирь), Тюменской области (Нижневартовский, Сургутский, Ярковский районы – Западная Сибирь). Кроме того, в работе используются данные В.А. Усольцева [8], собранные на территории Свердловской области (Верхотурский район – Средний Урал). Места сбора экспериментальных материалов отмечены на карте-схеме административно-территориального деления Российской Федерации (рис. 1), выполненной в цилиндрической проекции Миллера (EPSG:54003 – World Miller Cylindrical).



**Рис. 1. Места сбора экспериментальных материалов (красный цвет) на карте-схеме административно-территориального деления Российской Федерации**

Выборка для моделирования включает в себя сведения о 689 модельных деревьях. Визуализация выборки по таким показателям, как диаметр ствола на высоте груди, высота ствола и объем ствола, представлена на рисунке 2.

Выборка характеризуется следующими статистическими показателями. Среднее значение диаметра на высоте груди составляет 20,0 см (среднеквадратическое отклонение – 11,5 см), среднее значение высоты – 14,5 м (среднеквадратическое отклонение – 6,4 м). Среднее значение возраста модельных деревьев – 151 год (среднеквадратическое отклонение – 67 лет), среднее значение объема – 0,3881 м<sup>3</sup> (среднеквадратическое отклонение – 0,4481 м<sup>3</sup>).

Как следует из рисунка 2, наибольшая доля экспериментального материала приходится на стволы с диаметром на высоте груди до 30 см, при этом распределение экспериментального материала по классам высот является близким к равномерному. Распределение экспериментального мате-

риала по классам объемов стволов характеризуется ярко выраженной правосторонней асимметрией, больше половины модельных деревьев имеют объем ствола до 0,5 м<sup>3</sup>.

На основании изучения данных литературы [7, 9, 10, 11] были выбраны 16 математических моделей объема стволов ( $v$ ) с использованием в качестве переменных-предикторов диаметра на высоте груди ( $d$ ) и высоты ствола ( $h$ ). Структура математических моделей представлена в таблице 1.

Оценка параметров моделей проведена с использованием метода наименьших квадратов. Для каждой модели рассчитывался коэффициент детерминации ( $R^2$ ), скорректированный коэффициент детерминации ( $adj. R^2$ ), информационный критерий Акаике (AIC), информационный критерий Байеса (BIC) и средний квадрат ошибки (MSE) в масштабе исходных признаков. Для нелинейных моделей наряду с коэффициентом детерминации был рассчитан индекс детерминации. Общая значимость регрессионной модели оценивалась с использованием F-теста ( $\alpha = 0,05$ ).

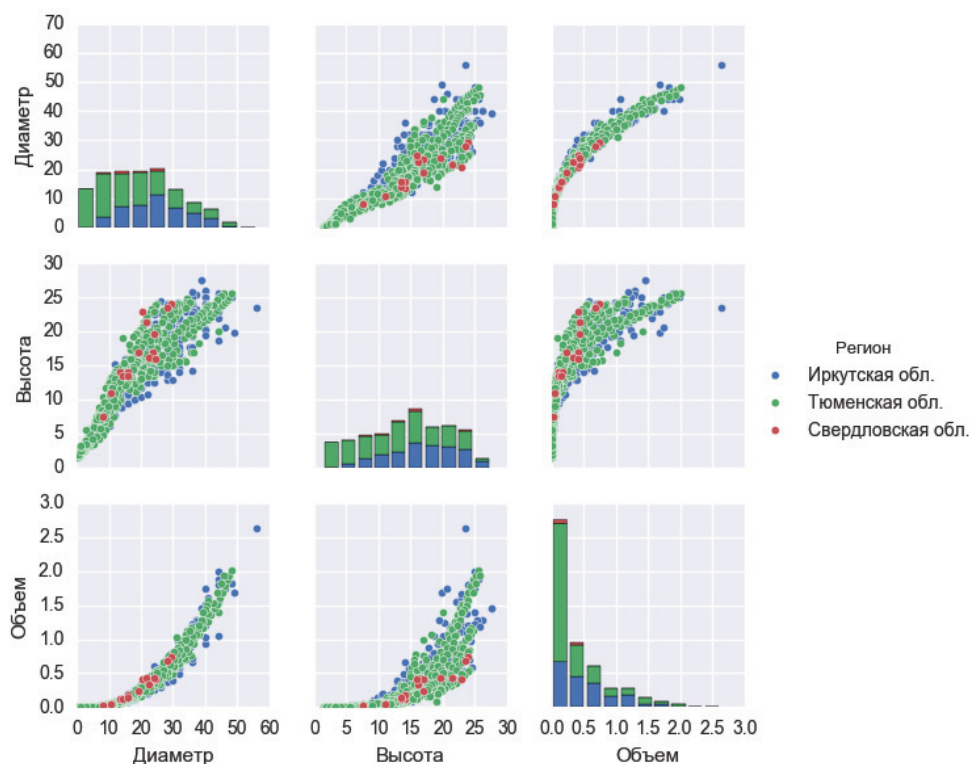


Рис. 2. Визуализация выборки

Таблица 1

## Структура математических моделей объема стволов

№	Структура модели
1	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h$
2	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h$
3	$v = \beta_0 + \beta_1 h d^2$
4	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2$
5	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$
6	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln(h d^2)$
7	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$
8	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln^2 d + \beta_3 \ln h$
9	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln^2 d + \beta_3 \ln^3 d + \beta_4 \ln h + \beta_5 \ln^2 h$
10	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln^2 d + \beta_3 \ln(h - 1,3) + \beta_4 \ln^2(h - 1,3)$
11	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln(h - 1,3)$
12	$v = \frac{\pi}{40000} d h (\beta_0 + \beta_1 d)$
13	$v = \beta_0 h d^2 + \beta_1 d h + \beta_2 d^3 + \beta_3 d h^2$
14	$v = \frac{\pi}{4} (\beta_0 d^2 h + \beta_1 d^2 h \ln^2 d + \beta_2 d^2)$
15	$v = \beta_0 h + \beta_1 h \left(\frac{d}{200}\right)^2 + \beta_2 \left(\frac{d}{200}\right)^2$
16	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln(d + 20) + \beta_3 \ln h + \beta_4 \ln(h - 1,3)$

Для подтверждения адекватности построенных моделей проводился анализ регрессионных остатков. Важным этапом

являлось обнаружение гетероскедастичности, которая приводит к неэффективности оценок, полученных методом наименьших

квадратов, так как классическая оценка ковариационной матрицы МНК-оценок параметров является смещенной и несостоятельной. Детекция гетероскедастичности проводилась с использованием критерия Бройша-Пагана ( $\alpha = 0,05$ ). В случае, если выявлялся факт гетероскедастичности, для получения более точных и правильных статистических выводов использовались стандартные ошибки в форме Уайта.

Статистическая значимость параметров регрессии в случае гомоскедастичности ошибок оценивалась с использованием t-теста ( $\alpha = 0,05$ ), а в случае гетероскедастичности с введением поправки Уайта – с использованием z-теста ( $\alpha = 0,05$ ).

**Результаты и обсуждение.** Характеристики моделей объема стволов показаны в таблице 2. Для всех моделей, кроме модели № 1 ( $R^2 = 0,858$ ), не учитывающей нелинейность связи между диаметром на высо-

те груди с объемом ствола и высоты ствола с объемом, коэффициент детерминации ( $R^2$ ) находится в диапазоне от 0,964 до 0,997, а скорректированный коэффициент детерминации ( $adj. R^2$ ) – от 0,963 до 0,997. Модели № 4 и № 5, в которых в качестве переменной-предиктора используется только диаметр на высоте груди, характеризуются сравнительно низкими значениями коэффициента детерминации, равного 0,964 и 0,968 соответственно.

Среди моделей, представленных в таблице 1, по показателям  $R^2$ , MSE, AIC, BIC в качестве лучших можно выбрать модель № 2 ( $R^2 = 0,989$ ; MSE = 0,0023; AIC = -2226; BIC = -2208), модель № 3 ( $R^2 = 0,988$ ; MSE = 0,0024; AIC = -2199; BIC = -2190), модель № 13 ( $R^2 = 0,994$ ; MSE = 0,0023; AIC = -2233; BIC = -2215) и модель № 15 ( $R^2 = 0,993$ ; MSE = 0,0023; AIC = -2222; BIC = -2208).

Таблица 2

Характеристика моделей объема стволов

№	Параметры						$R^2$	Adj. $R^2$	MSE	AIC	BIC
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$					
1	-2,7095E-01	4,2464E-02	-1,3209E-02	-	-	-	0,858	0,857	0,0285	-490	-476
2	-1,3501E-02	2,3280E-03	3,4000E-05	-1,2600E-04	-	-	0,989	0,989	0,0023	-2226	-2208
3	1,0969E-02	3,6000E-05	-	-	-	-	0,988	0,988	0,0024	-2199	-2190
4	-6,0302E-02	8,4000E-04	-	-	-	-	0,964	0,963	0,0073	-1430	-1421
5	2,2256E-02	-9,4220E-03	1,0380E-03	-	-	-	0,968	0,968	0,0064	-1522	-1508
6	-9,7494E+00	9,5078E-01	-	-	-	-	0,996	0,996	0,0028	-772	-763
7	-9,7768E+00	1,8733E+00	9,9211E-01	-	-	-	0,996	0,996	0,0029	-772	-758
8	-9,5768E+00	1,7097E+00	5,2041E-02	9,2063E-01	-	-	0,997	0,997	0,0029	-959	-941
9	-9,1233E+00	1,9086E+00	5,6605E-02	-9,2710E-03	2,3575E-01	1,3814E-01	0,997	0,997	0,0027	-986	-959
10	-8,8770E+00	2,0470E+00	-9,2040E-03	1,1044E-01	1,5164E-01	-	0,997	0,997	0,0028	-980	-958
11	-9,0550E+00	2,1124E+00	4,7843E-01	-	-	-	0,992	0,992	0,0048	-269	-255
12	5,0901E-01	4,5744E-01	-	-	-	-	0,964	0,964	0,0024	1986	1996
13	4,7000E-05	1,5900E-04	-4,0000E-06	-1,4000E-05	-	-	0,994	0,994	0,0023	-2233	-2215
14	5,1007E-05	-5,3213E-07	5,5832E-05	-	-	-	0,994	0,994	0,0023	-1905	-1891
15	6,3700E-04	1,3174E+00	2,7405E+00	-	-	-	0,993	0,993	0,0023	-2222	-2208
16	-1,0479E+01	1,9507E+00	1,2110E-01	1,4806E+00	-5,0027E-01	-	0,997	0,997	0,0026	-994	-971

Модели в логарифмическом масштабе признаков и отклика нашли широкое применение в лесном хозяйстве: например, при моделировании объемов столов и при моделировании биомассы деревьев. При этом крайне редко используется обратное преобразование от логарифмической шкалы при оценке качества моделей. Весьма невелико количество исследований как в нашей стране, так и за рубежом, в которых для сравнения качества моделей рассчиты-

вается значение среднеквадратического отклонения в оригинальной шкале.

Отдельного внимания заслуживает коэффициент детерминации, часто используемый для сравнения моделей, который, как известно, имеет ограниченное применение в случае нелинейных моделей. В работе R. Anderson-Sprecher [12] отмечено, что широкое использование  $R^2$  неизбежно приводит к его ошибочному использованию на практике.

В нашем случае в список лучших не попала ни одна из моделей, в которой оценивание параметров осуществляется в логарифмическом масштабе, несмотря на то, что модели №№ 8-10 характеризуются достаточно высоким коэффициентом детерминации ( $R^2 = 0,997$ ). Значения MSE в масштабе исходных признаков находятся в диапазоне от 0,0027 до 0,0029, что несколько выше, чем у моделей, отобранных в качестве лучших.

Таким образом, в результате логарифмического преобразования произошло смещение оценок коэффициента детерминации. Коэффициент детерминации (индекс детерминации) в исходном масштабе приобретает следующие значения: модель № 8-0,986; модель № 9-0,987; модель № 10-0,986. При этом стоит отметить, что информационные критерии оказались более надежным средством для тестирования качества моде-

лей, так как позволяют учесть точность аппроксимации и сложность модели.

Несмотря на то, что модели с прологарифмированным откликом оказались несколько хуже, у них имеется важное преимущество над моделями, отобранными в качестве лучших. В моделях этого типа снижение точности аппроксимации компенсируется минимизацией относительных отклонений значений объемов для маломерных стволов.

Визуализация выявленных закономерностей показана на рисунке 3, где приводится сопоставление между фактически объемами и объемами, рассчитанными по моделям, отобранным в качестве лучших. Несмотря на то, что значения критериев качества моделей являются достаточно близкими друг к другу, предсказанные значения отличаются.

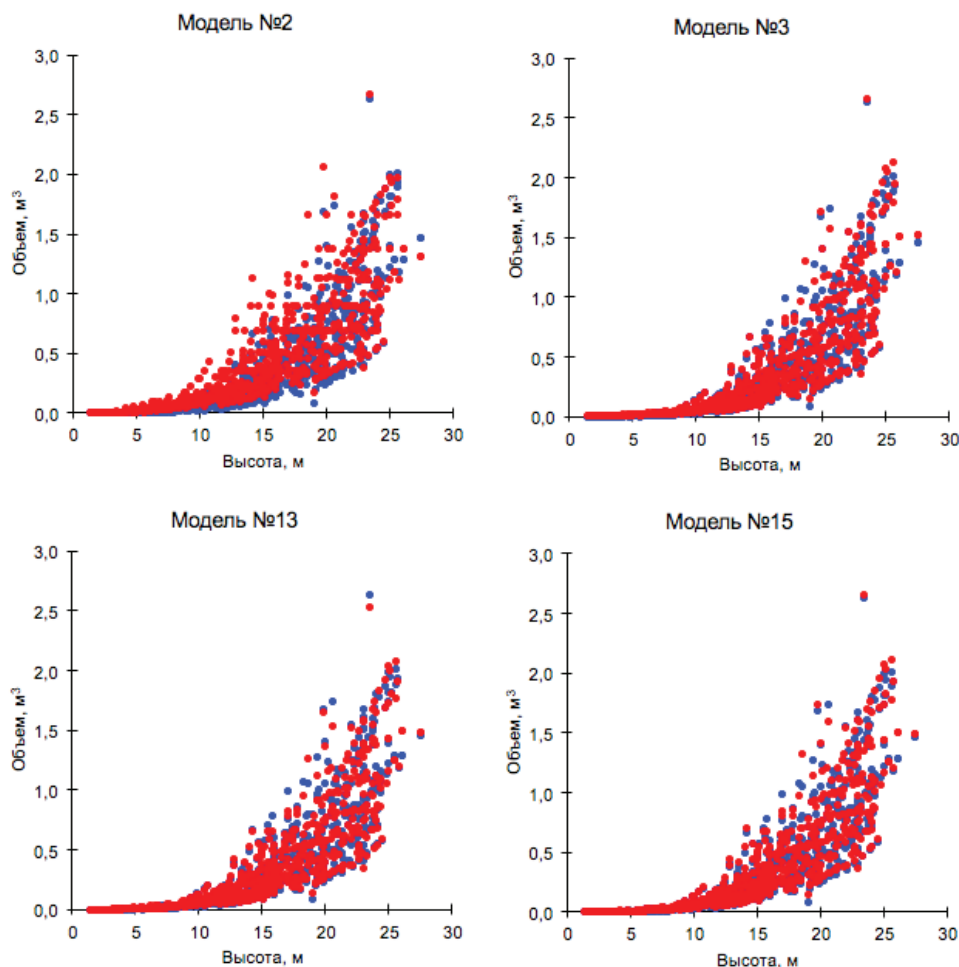


Рис. 3. Сравнение между фактическими объемами (синий цвет) и предсказанными по модели (красный цвет)

Для маломерных стволов отмечена некорректность предсказания объемов с использованием модели № 2. При диаметрах ствола на высоте груди меньше 3 см и высо-

те стволов меньше 3 м расчетные значения объемов оказываются меньше 0, что противоречит физическому смыслу рассматриваемой величины.

Для ствола с диаметром на высоте груди 20 см и с высотой 15 м значение объема, рассчитанное по модели № 2, составляет 0,3576 м<sup>3</sup>, по модели № 3-0,2270 м<sup>3</sup>, по модели № 13-0,2347 м<sup>3</sup>, по модели № 15-0,2346 м<sup>3</sup>. Разность между минимальным и максимальным предсказанными значениями составляет 0,1306 м<sup>3</sup>. Усредненное значение объема по модельным деревьям с заданными таксационными характеристиками составляет 0,2485 м<sup>3</sup>. Таким образом, в данном случае модель № 2 дает сильное завышение от истинного значения (44%). Объемы, наиболее близкие к истинному значению, получены по моделям № 13 и № 15, которые дают наименьшее занижение (≈5,5%).

Сравнение значений объемов стволов кедров сибирского, полученных в результате расчетов по модели № 13, с данными, которые содержатся в таблицах других авторов, представляет существенный интерес. Сравнение проведено без учета разряда таблиц – по общности диаметров и близким значениям высот. Данные сравнения приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Сравнение объемов стволов кедров, полученных разными исследователями, с результатами расчета по модели № 13**

Диаметр, см	М.В. Богдашин				Е.В. Шульц				Б.Я. Дуденков				П.В. Горский				З.Я. Нагимов с соавторами			
	Высота, м	Объем, м <sup>3</sup>	Объем по модели, м <sup>3</sup>	Различия, %	Высота, м	Объем, м <sup>3</sup>	Объем по модели, м <sup>3</sup>	Различия, %	Высота, м	Объем, м <sup>3</sup>	Объем по модели, м <sup>3</sup>	Различия, %	Высота, м	Объем, м <sup>3</sup>	Объем по модели, м <sup>3</sup>	Различия, %	Высота, м	Объем, м <sup>3</sup>	Объем по модели, м <sup>3</sup>	Различия, %
12	12	0,072	0,073	1,4	11,5	0,069	0,071	2,4	13,5	0,060	0,080	32,7	12	0,075	0,073	-2,7	12	0,030	0,073	143,4
16	14	0,149	0,144	-3,5	13	0,140	0,135	-3,4	15	0,140	0,152	8,5	14	0,150	0,144	-4,1	14,3	0,100	0,146	46,2
20	16	0,259	0,248	-4,2	16,5	0,260	0,254	-2,1	17	0,230	0,261	13,4	15,5	0,249	0,241	-3,0	16	0,186	0,248	33,3
24	17	0,400	0,373	-6,8	18	0,402	0,392	-2,5	18,5	0,385	0,401	4,2	16,5	0,382	0,363	-5,0	17,4	0,310	0,380	22,7
28	19	0,581	0,555	-4,4	19	0,573	0,555	-3,1	19,5	0,560	0,568	1,5	19,5	0,595	0,568	-4,5	18,4	0,470	0,539	14,8
32	20	0,803	0,754	-6,1	20	0,778	0,754	-3,1	20	0,764	0,754	-1,3	20	0,790	0,754	-4,6	19,2	0,650	0,726	11,6
36	21	1,053	0,990	-5,9	20,5	1,010	0,968	-4,2	22,5	1,020	1,058	3,7	20,5	1,010	0,968	-4,2	19,9	0,850	0,940	10,6
40	22	1,330	1,267	-4,7	21	1,260	1,210	-4,0	23	1,300	1,324	1,8	21	1,270	1,210	-4,7	20,5	1,050	1,181	12,4
44	23	1,627	1,587	-2,5	22	1,590	1,517	-4,6	23,5	1,600	1,622	1,4	23,5	1,710	1,622	-5,2	-	-	-	-

Наименьшее расхождение объемов стволов, рассчитанных по модели № 13, получено с таблицами Е.В. Шульца (максимальное отклонение –4,6%), П.В. Горского (максимальное отклонение –5,2%) и М.В. Богдашина (максимальное отклонение –6,8%). Наибольшие различия выявлены с объемами стволов из таблицы, составленной З.Я. Нагимовым с соавторами [13], которая дает существенное занижение объемов стволов, что, вероятно, связано с недостаточным количеством использованных экспериментальных материалов (102 модельных дерева на 5 разрядов высоты). Случайный характер отклонений, выявленный при сопоставлении полученных нами объемов стволов кедров с данными других авторов, подтверждает принадлежность исходного материала, послужившего для составления всех сравниваемых таблиц, одной генеральной совокупности.

**Заключение**

Полученные в результате исследования модели зависимости объема стволов сосны кедровой сибирской от диаметра на высоте груди и от высоты ствола могут быть использованы при составлении новых лесотаксационных нормативов: например, объемных таблиц. Описанные в работе методические приемы могут быть использованы при разработке моделей объемов стволов других древесных пород.

**Библиографический список**

1. Третьяков Н.В., Горский П.В., Шульц В.Е. Справочник таксатора. Л.: Гослестехиздат, 1940. 393 с.
2. Анучин Н.П. Сортиментные и товарные таблицы для лиственницы, кедров и пихты. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. 84 с.
3. Нахабцев И.А. Опыт составления таблиц объемов, сортименто-сортных и товарных

ных для древостоев кедра сибирского района Восточных Саян // Сборник статей по обмену производственно-техническим опытом по лесному хозяйству и лесоустройству. Л.: ЛенНИИЛХ, 1961. С. 109-123.

4. Дударев А.Д., Косарев Н.Г., Липчанский М.С., Сивков В.Я. Объемные и сортиментные таблицы для сосны, пихты и кедра Алтайского края и Кемеровской области. Воронеж: ВГУ, 1973. 92 с.

5. Семечкин И.В. Возрастная структура и динамика кедровых древостоев Сибири: Дис. д-ра сельскохозяйственных наук. Красноярск, 2001. 349 с.

6. Заварзин В.В., Лебедев А.В. Форма и объем стволов кедра сибирского // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2016. № 2. С. 44-52.

7. Vibrans A.C., Moser P., Oliveira L.Z., Maçaneiro J.P. Generic and specific stem volume models for three subtropical forest types in southern Brazil // Annals of Forest Science. 2015. № 6(72). P. 865-874.

8. Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев для дистанционной и наземной таксации лесов Евразии: Электронное издание на русском языке / В.А. Усольцев; Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2016 // <http://www.twirpx.com/file/1593351/>

9. Климов А.Г., Кузьмичев В.В. Объемы маломерных стволов сосны обыкновенной в Читинской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2005. № 10. С. 27-30.

10. Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. Biomass and stem volume

equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs*, 2015. 63 p.

11. Brandel G. Volume Functions for Individual Trees, Scots Pine (*Pinus sylvestris*), Norway Spruce (*Picea abies*) and Birch (*Betula pendula* & *Betula pubescens*). In Rapport–Institutionen för Skogsproduktion, Sveriges Lantbruksuniversitet // Swedish University of Agricultural Sciences: Garpenberg, Sweden. 1990.

12. Anderson-Sprecher R. Model comparisons and  $R^2$  // *The American Statistician*. 1994. № 2(48). P. 113-117.

13. Нагимов З.Я. Таблицы объемов стволов и хлыстов кедра Белоярского лесхоза Ханты-Мансийского национального округа // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. науч. тр. Вып. 22. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. С. 111-115.

Материал поступил в редакцию 21.02.2017 г.

#### Сведения об авторах

**Заварзин Виктор Владимирович**, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: +7-499-976-14-78

**Лебедев Александр Вячеславович**, ассистент кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: +7-499-976-14-78; e-mail: avl1993@mail.ru

V.V. ZAVARZIN, A.V. LEBEDEV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after S.A. Timiryazev», Russia, Moscow

## CONCERNING THE SIMULATION METHOD OF TRUNKS VOLUME BY THE EXAMPLE OF THE SIBERIAN CEDAR PINE (*PINUS SIBIRICA*)

*The study was conducted with the purpose of selection and substantiation of the models that best describe the dependence of the volume from the diameter on the breast height (dbh) and height of the trunk. In total we used the data on 689 model trees of the Siberian cedar pine (*Pinus sibirica*) selected in the middle Urals, Western and Eastern Siberia. As a result of the analysis of the literary sources we selected 16 types of mathematical models. Values of model parameters were determined by the method of least squares. Assessment of the models quality was carried out according to indicators such as determination coefficient ( $R^2$ ), adjusted determination coefficient (Adj.  $R^2$ ), root mean square error (RMS) and information criteria (AIC and BIC). The models widely used in forestry in the logarithmic scale which often are used to model trunk volumes and trees biomass appeared to be slightly worse than the models in which the response is used in the initial scale despite the fact that in the straightened logarithmic feature space models are characterized by a high value of determination coefficient ( $R^2 = 0.997$ ). The value MSE for the models selected as the best ones is 0.0023 and for the models with the MSE logarithmic transformation in the original scale is in the range of p from 0.0027 to 0.0029. To compare*

*the quality of models it is recommended to use not only the coefficient of determination, but also the information criteria. Revealed the regularities can be the basis for new forest inventory standards and the proposed methodological approaches can be used to model the trunks volume of other tree species.*

*Volume of trunk, Siberian pine, cedar, forest inventory, modeling, coefficient of determination, information criteria.*

### References

1. Tretjyakov N. V., Gorsky P.V., Shul'ts V.E. Spravochnik taksatora. L.: Goslestehizdat, 1940. 393 s.
2. Anuchin N.P. Sortimentnye I tovarnye tablitsy dlya listvennitsy, kedra i pithy. M. – L.: Goslesbumisdat, 1949. 84 s.
3. Nahabtsev I.A. Opyt sostavleniya tablits objemov, sortimentno-sortnyh i tovarnyh dlya drevostoev kedra sibirskogo rajona Votchnyh Sayan // Sbornik statej po obenu proizvodstvenno-tehnicheskim opytom po lesnomu hozyajstvu I lesoustrojstvu. L.: LenNIILH, 1961. S. 109-123.
4. Dudarev A. D., Kosarev N.G., Lipchanskij M.S., Sivkov V.Ya. Objemnye i sortimentnye tablitsy dlya sosny, pithy i kedra Altajskogo kraja I Kemerskoj oblasti. Voronezh: VGU, 1973. 92 s.
5. Semechkin I.V. Vozrastnaya struktura i dinamika kedrovyyh drevostoev Sibiri: Dis. D-ra sel'skohozyajstvennyh nauk. Krasnoyarsk, 2001. 349 s.
6. Zavarzin V. V., Lebedev A.V. Forma i objem stvolov kedra sibirskogo // Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik. 2016. № 2. S.44-52.
7. Vibrans A.C., Moser P., Oliveira L.Z., Maçaneiro J.P. Generic and specific stem volume models for three subtropical forest types in southern Brazil // Annals of Forest Science. 2015. № 6(72). P. 865-874.
8. Usol'tsev V.A. Fitomassa modelnyh derevjev dlya distantsionnoj I nazemnoj taksatsii lesov Evrazii: Electronnoe izdanie na russkom yazyke / V.A. Usol'tsev; Ural. gos. lesotehn. un-t. Yekaterinburg, 2016 // <http://www.twirpx.com/file/1593351/>
9. Klimov A. G., Kuz'michev V.V. Objemy malomernyyh stvolov sosny obyknovennyh v Chitinskoj oblasti // Aktualnyye problemy lesnogo kompleksa. 2005. № 10. S. 27-30.
10. Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Silva Fennica Monographs, 2015. 63 p.
11. Brandel G. Volume Functions for Individual Trees, Scots Pine (*Pinussylvestris*), Norway Spruce (*Piceaabies*) and Birch (*Betula pendula & Betulapubescens*). In Rapport–Institutionen för Skogsproduktion, Sveriges Lantbruksuniversitet // Swedish University of Agricultural Sciences: Garpenberg, Sweden. 1990.
12. Anderson-Sprecher R. Model comparisons and  $R^2$  // The American Statistician. 1994. № 2(48). P. 113-117.
13. Nagimov Z.Ya. Tablitsy objemov stvolov I hlystov kedra Beloyarskogo leskhozha Hanty-Mansijskogo natsionalnogo okruga // Lesa Urala I hozyajstvo v nih: Sb. Nauch. tr. Vyp. 22. Yekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2002. S. 11-115.

The material was received at the editorial office  
21.02.2017

### Information about the authors

**Zavarzin Victor Vladimirovich**, candidate of agricultural sciences, professor of the chair of forestry and reclamation of landscapes FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: +7-499-976-14-78

**Lebedev Alexandr Vyacheslavovich**, assistant of the chair of forestry and reclamation of landscapes FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: +7-499-976-14-78; e-mail: avl1993@mail.ru