

Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 43–55.

Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 42–54.

Научная статья

DOI: 10.51318/FRET.2024.57.69.005

УДК 630*5

ОБРАЗУЮЩАЯ И ОБЪЕМ НИЖНЕЙ ЧАСТИ СТВОЛОВ В СПЕЛЫХ КУЛЬТУРАХ СОСНЫ РАЗЛИЧНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Николай Николаевич Дубенок¹, Александр Вячеславович Лебедев²

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,
Москва, Россия

¹ ndubenok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>

² alebedev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>

Аннотация. В настоящее время продолжает оставаться нераскрытым вопрос о влиянии происхождения лесных культур на форму нижней части стволов. Целью исследования являлись выявление особенностей образующей и определение объема древесины нижней части стволов в спелых культурах сосны различного географического происхождения. Объект исследования – спелые насаждения в лесных культурах сосны Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К. А. Тимирязева. В исследовании использованы данные обмера 180 модельных деревьев на 15 постоянных пробных площадях. Регионы происхождения семян, из которых выращены лесные культуры, сгруппированы в 4 категории: северный (Вологодская обл.), центральный (г. Москва, Московская обл., Владимирская обл., Костромская обл., г. Рига) и южный (Тамбовская обл., Липецкая обл.) лесосеменные районы и Германия (г. Эрфурт). Анализ экспериментальных материалов выполнен с использованием нелинейного регрессионного анализа и нелинейных моделей смешанных эффектов. По данным обмеров модельных деревьев в спелых культурах сосны выявлено, что по возрастанию величины относительного сбega и объема древесины комлевой части ствола районы происхождения семян ранжируются следующим образом: северный, центральный, южный, Германия. Для прогнозирования относительного сбega по высоте пня и для перехода от диаметра пня к диаметру на высоте 1,3 м предложены эмпирические модели с учетом географического происхождения культур сосны. Средняя абсолютная ошибка определения относительного сбega нижней части ствола по полученной регрессионной модели смешанных эффектов не превышает 3,5 %.

Ключевые слова: нижняя часть ствола, образующая ствола, лесные культуры, географическое происхождение лесных культур

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-01016, <https://rscf.ru/project/23-76-01016/>

Для цитирования: Дубенок Н. Н., Лебедев А. В. Образующая и объем нижней части стволов в спелых культурах сосны различного географического происхождения // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 43–55.

Scientific article

THE SHAPE AND VOLUME OF THE LOWER PART OF TRUNKS IN MATURE PINE PLANTATIONS OF DIFFERENT GEOGRAPHICAL ORIGINS

Nikolay N. Dubenok¹, Aleksandr V. Lebedev²

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹ ndubenok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>

² alebedev@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8939-942X>

Abstract. At present, the question of the influence of the origin of forest plantations on the shape of the lower part of the trunks continues to remain unsolved. The purpose of the study was to identify the characteristics of the shape and determine the volume of wood in the lower part of the trunks in mature pine plantations of various geographical origins. The object of the study is mature stands in forest pine plantations of the Forest Experimental Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The study used measurement data from 180 model trees on 15 permanent trial plots. The regions of origin of seeds from which forest plantations are grown are grouped into 4 categories: northern (Vologda region), central (Moscow, Moscow region, Vladimir region, Kostroma region, Riga) and southern (Tambov region, Lipetsk region) forest seed areas and Germany (Erfurt). The analysis of experimental materials was performed using nonlinear regression analysis and nonlinear mixed effects models. Based on measurements of model trees in mature pine plantations, it was revealed that according to the increasing value of the relative slope and the volume of wood in the butt part of the trunk, the regions of seed origin are ranked as follows: northern, central, southern, Germany. To predict the relative slope along the height of the stump and for the transition from the diameter of the stump to the diameter at a height of 1,3 m, empirical models were proposed taking into account the geographical origin of pine plantations. The average absolute error in determining the relative runoff of the lower part of the trunk according to the obtained regression model of mixed effects does not exceed 3,5 %.

Keywords: lower part of the trunk, forming the trunk, forest plantations, geographical origin of forest plantations

Funding: this work has been supported by the grants the Russian Science Foundation, RSF 23-76-01016, <https://rscf.ru/project/23-76-01016/>

For citation: Dubenok N. N., Lebedev A. V. The shape and volume of the lower part of trunks in mature pine plantations of different geographical origins // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 43–55.

Введение

Вопросам изучения географических культур посвящено большое количество исследований, например, выявлению особенностей роста и продуктивности (Гайфуллина, Духтанова, 2008; Раевский, 2011; Ребко, Поплавская, 2013), рядов распределения числа деревьев по толщине (Михайлова, Чернышов, 2021), фитопатологического

и санитарного состояния (Кузьмина, Кузьмин, 2007; Скрыльникова и др., 2013; Варенцова, Николаева, 2018), динамики радиального прироста деревьев (Тарасова и др., 2008; Кузьмин, 2012), определению селекционной ценности (Максимов, Марущак, 2010) и др. Несмотря на это, как отмечается в работе С. Mátyás et al. (2023), в настоящее время нет однозначного ответа, какие культуры

более целесообразны: выращенные из семян местного происхождения или из полученных в других регионах.

Форма древесного ствола, в том числе нижней части, зависит от многих факторов (Каштальянов, Вайс, 2022): биологических свойств древесной породы, лесорастительных условий, проводимых лесохозяйственных мероприятий. Ранее выполненные исследования в Красноярской лесостепи (Павлов, Барabanова, 2005) показывают, что на форму ствола оказывает влияние географическое происхождение лесных культур. При этом продолжает оставаться нераскрытым вопрос о влиянии географического происхождения культур на форму комлевой части стволов. В условиях отсутствия в России специальных лесотаксационных нормативов для определения диаметров стволов на высоте 1,3 м в зависимости от диаметров и высот пней по древесным породам (Модель сбega..., 2022), возрастающего значения комплексного учета всех древесных ресурсов и величины депонированного углерода возрастает роль исследований, направленных на изучение особенностей сбega и объема нижней части древесных стволов.

Цель исследования – выявление особенностей образующей и определение объема древесины нижней части стволов в спелых культурах сосны различного географического происхождения.

Методика

и объекты исследования

Объектом исследования являются спелые насаждения в лесных культурах сосны Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К. А. Тимирязева. Культуры на постоянных пробных площадях созданы в период с 1890 по 1899 гг. под руководством М. К. Турского с начальной густотой 32 тыс. растений на 1 га (Географические культуры..., 2019; The influence..., 2021). Для выращивания посадочного материала использовались семена из г. Москвы (Лесная опытная дача), Вологодской, Костромской, Владимирской, Липецкой, Тамбовской (г. Мичуринск) областей, Латвии (г. Рига) и Германии (г. Эрфурт). В настоящее время древостои по породному составу смешанные с преобладаем

сосны, доля участия которой в формуле состава – от 60 до 90 % (табл. 1). В насаждениях пробных площадей происходит процесс замещения сосны широколиственными древесными породами: липой, кленом остролистным и дубом (Лежнев, Лебедев, 2023). Естественное возобновление хвойных древесных пород отсутствует. Средняя высота древостоев составляет от 28,9 до 32,5 м, средний диаметр – от 32,0 до 38,4 см, запас древесины – от 475 до 770 м³/га.

Для изучения особенностей формы нижней части стволов на каждой пробной площади проводился обмер 12 модельных деревьев. На стволе каждого дерева мелом отмечались высотные отметки от 0,0 до 1,3 м с градацией 0,1 м. На каждой отметке мерной вилкой Haglof проводилось измерение диаметров стволов в двух взаимно перпендикулярных направлениях, по которым вычислялось среднее значение диаметра. Также определялись относительные диаметры как отношение диаметра на заданной высоте от основания ствола к таксационному диаметру на высоте 1,3 м, выраженное в процентах. Объем нижней части стволов вычислялся по сложной формуле срединных сечений с длиной секции 0,1 м. Всего на 15 постоянных пробных площадях выполнен обмер 180 деревьев, описательные статистики по которым приведены в табл. 2.

Для моделирования кривой, задающей образующую нижней части стволов, в качестве базового уравнения использовалась функция Нэггис, которая во многих исследованиях указывается как наиболее соответствующая (Вайс, 2010; Забавская, Вайс, 2016):

$$d_{rel} = \frac{10}{a_1 + a_2 h^{a_3}}, \quad (1)$$

где d_{rel} – относительный диаметр, %;

h – высота ствола от основания в диапазоне от 0,0 до 1,3 м;

a_1 , a_2 и a_3 – параметры уравнения.

Регионы происхождения семян, из которых выращены лесные культуры, сгруппированы в 4 категории: северный (Вологодская обл.), центральный (г. Москва, Московская обл., Владимирская обл., Костромская обл., г. Рига) и южный (Тамбовская обл., Липецкая обл.) лесосеменные районы, Германия (г. Эрфурт).

Таблица 1
Table 1Сводная характеристика пробных площадей в культурах сосны
Summary characteristics of sample plots in pine plantations

Пробная площадь Trial plot	Площадь, га Area, ha	Год посадки Created year	Происхождение семян Provenance	Состав Stand composition	Возраст, лет Age, years	Средняя высота, м Mean height, m	Средний диаметр, см Quadratic mean diameter, cm	Запас, м ³ /га Stand volume, m ³ /ha
4/А	0,1357	1892	г. Москва Moscow	8С1Б1КЛО+ЛП+Д	130	31,1	32,8	717
4/Б	0,1410	1892	г. Москва Moscow	9С1ЛП+КЛО	130	31,8	34,5	720
4/В	0,1388	1892	г. Москва Moscow	7С1ЛП2КЛО	130	30,9	32,0	693
4/Д	0,1420	1892	г. Москва Moscow	9С1ЛП1КЛО	130	32,3	32,5	813
4/Е	0,1420	1892	г. Москва Moscow	9С1КЛО+ЛП+Б	130	32,5	36,5	693
4/Ж	0,0749	1890	Вологодская обл. Vologda region	7С2ЛП1КЛО	132	28,9	34,0	530
4/З	0,0627	1890	Костромская обл. Kostroma region	7С3ЛП+В+КЛО	132	31,0	33,5	554
4/И	0,0767	1890	Владимирская обл. Vladimir region	8С2ЛП+В+КЛО	132	29,9	34,1	457
4/М	0,0903	1890	г. Москва Moscow	9С1ЛП+В+КЛО	132	31,4	34,8	644
4/Н	0,0831	1890	Латвия (г. Рига) Latvia (Riga)	10С+Е+В	132	31,9	36,5	469
4/О	0,0741	1890	Германия (г. Эрфурт) Germany (Erfurt)	10С+Е+Б+В	132	32,5	37,8	770
4/Р	0,0915	1899	Владимирская обл. Vladimir region	8С2ЛП+Е+Д+КЛО	123	29,8	33,9	547
4/С	0,0751	1899	Липецкая обл. Lipetsk region	7С2Е1Б+В	123	30,4	35,6	619
4/Т	0,0749	1899	Германия (г. Эрфурт) Germany (Erfurt)	6С3Е1ЛП+В	123	31,3	36,3	667
4/У	0,0636	1899	Тамбовская обл. (г. Мичуринск) Tambov region (Michurinsk)	7С1Е2ЛП+В	123	30,4	38,4	634
4/Ф	0,0576	1899	г. Москва (Moscow)	9С1Е+В	123	30,2	35,3	475

Примечание: С – сосна, Е – ель, Б – береза, Д – дуб, В – вяз, КЛО – клен остролистный, ЛП – липа.
Note: С – pine, Е – spruce, Б – birch, Д – oak, В – elm, КЛО – Norway maple, ЛП – linden.

Таблица 2
Table 2Описательные статистики таксационных показателей модельных деревьев
Descriptive statistics of tree indicators of model trees

Высота пня, м Stump height, m	Диаметр, см Diameter, cm					Относительный диаметр, % Relative diameter, %				
	mean	std	min	max	CV, %	mean	std	min	max	CV, %
0,0	46,7	7,9	24,1	69,2	16,9	135,5	11,2	110,3	175,0	8,2
0,1	45,8	7,8	23,6	68,2	17,0	132,6	10,4	109,6	170,7	7,8
0,2	44,9	7,7	23,0	67,4	17,2	129,9	9,5	108,6	166,1	7,3
0,3	44,0	7,6	22,5	66,3	17,4	127,2	8,7	108,4	160,5	6,8
0,4	43,0	7,6	22,1	65,3	17,6	124,5	7,9	107,6	154,5	6,3
0,5	42,2	7,5	21,6	64,3	17,8	121,8	7,2	106,6	150,9	5,9
0,6	41,2	7,4	21,0	63,1	18,0	119,1	6,4	105,8	144,5	5,4
0,7	40,3	7,4	20,6	62,3	18,2	116,4	5,6	104,6	138,6	4,8
0,8	39,4	7,3	20,2	61,2	18,5	113,8	4,7	103,4	131,8	4,1
0,9	38,5	7,3	19,8	60,1	18,8	111,1	3,8	102,7	125,5	3,5
1,0	37,7	7,2	19,3	59,2	19,1	108,4	3,1	102,4	120,0	2,8
1,1	36,8	7,2	19,0	58,3	19,5	105,7	2,2	101,4	116,4	2,0
1,2	35,8	7,2	18,5	57,3	20,0	103,0	1,2	100,8	108,9	1,2
1,3	34,8	7,1	18,0	56,1	20,5	100,0	0,0	100,0	100,0	0,0

Примечание: mean – средняя арифметическая, std – среднеквадратическое отклонение, min – минимальное значение, max – максимальное значение, CV – коэффициент вариации.

Note: mean – arithmetic mean, std – standard deviation, min – minimum value, max – maximum value, CV – coefficient of variation.

Влияние региона происхождения семян, из которых выращены лесные культуры, выявлялось с использованием нелинейной модели смешанных эффектов (Лебедев, Кузьмичев, 2021) на основе функции Harris:

$$d_{rel} = \frac{10}{(a_1 + \alpha_{1i}) + (a_2 + \alpha_{2i}) h^{(a_3 + \alpha_{3i})}} + \varepsilon_i, \quad (2)$$

где d_{rel} – относительный диаметр для выборки i , %;
 h – высота ствола от основания в диапазоне от 0,0 до 1,3 м для выборки i ;

a_1 , a_2 и a_3 – параметры уравнения;

α_{1i} , α_{2i} и α_{3i} – вектор случайных эффектов для отдельного региона i , имеющий нормальное распределение с нулевым средним и стандартным отклонением σ_{α_i} ;

ε_i – вектор остатков, имеющий нормальное распределение с нулевым средним и стандартным отклонением σ .

Для сравнения обобщающей способности модели смешанных эффектов с моделью фиксированных эффектов применялся тест отношения правдоподобия (при $p = 0,05$). Оценка качества регрессионных моделей выполнялась с использованием следующих показателей качества (Lebedev, Kuzmichev, 2020): квадратный корень из среднеквадратической ошибки (RMSE), средний абсолютный процент ошибки (MAPE), информационные критерии Акаике (AIC) и Байеса (BIC). Проверка гипотезы о статистической значимости оценок параметров уравнений проводилась при помощи t -теста (при $p = 0,05$). Анализ экспериментальных данных выполнен в среде статистических вычислений R 3.6.3 + lme4 1.1.

Результаты и их обсуждение

Оценки моделей фиксированных и смешанных эффектов представлены в табл. 3. Модель фиксированных эффектов передает зависимость относительных диаметров от высоты без учета региональных особенностей происхождения семян. Добавление случайных эффектов на уровне географического происхождения по четырем районам улучшило метрики качества по сравнению с моделью фиксированных эффектов: RMSE уменьшился на 5,6, MAPE – на 5,9, AIC – на 1,5 и BIC – на 1,4 %. Все оценки параметров фиксированной части моделей являются статистически значимыми ($p < 2e - 16$). Тест отношения правдоподобия показал (L. Ratio = 289,7, $p < 0,001$), что модель смешанных эффектов с учетом региона происхождения семян достоверно обладает лучшей обобщающей способностью, чем классическая модель фиксированных эффектов. Таким

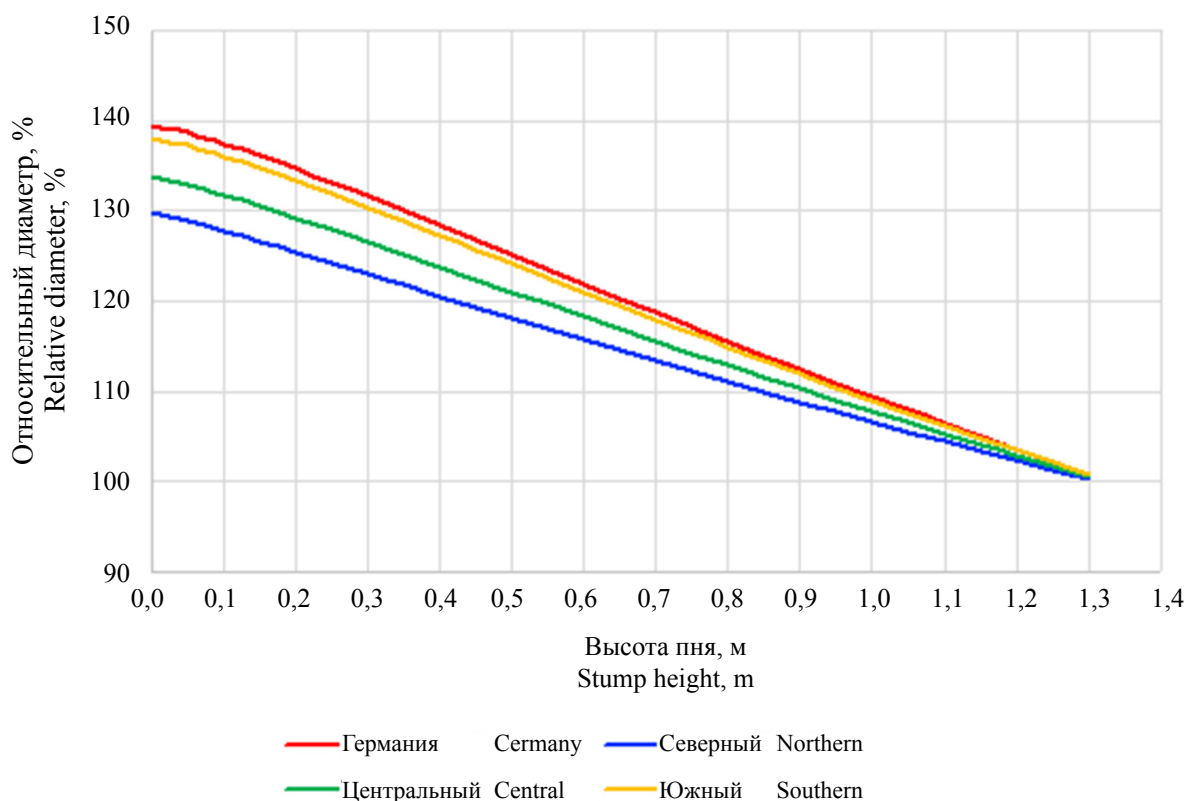
образом, региональные особенности семян сосны оказывают достоверное влияние на образующую нижнюю часть стволов.

На рисунке показана графическая визуализация зависимости относительных диаметров от высоты пня для различных районов происхождения. По величине относительных диаметров районы ранжируются следующим образом (от меньших к большим): северный, центральный, южный и Германия. По модели для северного района на нулевом срезе относительный диаметр составляет 129, для центрального – 134, для южного – 138 и для Германии – 139 %. При движении районов происхождения от севера к югу наблюдается увеличение относительного сбega нижней части ствола. На пробных площадях южного происхождения нижняя часть стволов сосны является более закомелистой, чем на участках северного происхождения.

Таблица 3
Table 3

Итоговые оценки для моделей фиксированных и смешанных эффектов
Final estimates for fixed and mixed effects models

Параметр Parameter	Оценка Estimate	t-статистика t-statistic	p-value	Критерии качества модели Model quality criteria			
				RMSE	MAPE	AIC	BIC
Модель фиксированных эффектов Fixed effects model							
a_1	0,0741	351,2	$<2e - 16$	6,732	3,741	17887,9	17911,4
a_2	0,0184	68,1	$<2e - 16$				
a_3	1,2078	34,7	$<2e - 16$				
Модель смешанных эффектов Mixed effects model							
Фиксированные компоненты Fixed components				6,353	3,521	17610,2	17669,2
α_1	0,0740	69,2	$<2e - 16$				
α_2	0,0184	29,4	$<2e - 16$				
α_3	1,2105	29,5	$<2e - 16$				
Случайные компоненты Random components							
$\sigma_{\alpha_{1i}}$	0,00210	–	–				
$\sigma_{\alpha_{2i}}$	0,00115	–	–				
$\sigma_{\alpha_{3i}}$	0,0492	–	–				
σ	6,357	–	–				



Зависимость относительных диаметров от высоты пня для различных районов происхождения семян
 Dependence of relative diameters on stump height for different areas of seed origin

Полученная регрессионная модель позволяет рассчитывать значения диаметра на высоте 1,3 м по диаметру пня с учетом особенностей географического происхождения семян сосны:

$$DBH = 10d (a_1 + a_2^{ha_3}), \tag{3}$$

где DBH – диаметр на высоте 1,3 м;

d – диаметр на высоте пня, см;

h – высота пня, м;

a_1, a_2 и a_3 – параметры уравнения.

С учетом случайных эффектов (районы происхождения семян сосны) и по всей выборочной совокупности коэффициенты уравнения представлены в табл. 4. Разработанная модель может применяться в зеленых насаждениях Москвы для оценки ущерба, причиненного незаконными рубками в спелых культурах сосны. С использованием модели по диаметру пня рассчитывается диаметр на высоте 1,3 м, на основании которого определяется величина нанесенного экологического ущерба.

В рамках комплексного использования древесных ресурсов на лесосеках Московского региона пневая древесина может находить применение в целях биоэнергетики (Шегельман, 2012; Полянин, Макаров, 2016). По модели зависимости относительных диаметров от высоты пня были рассчитаны значения объемов комлевой части в диапазоне таксационных диаметров стволов (20–60 см) на пробных площадях (табл. 5). По величине объема пневой древесины районы происхождения ранжируются следующим образом (по возрастанию): северный, центральный, южный, Германия. При этом ранее проведенные исследования показывают (Географические культуры..., 2019), что наиболее предпочтительными в целях получения товарной древесины являются культуры местного географического происхождения.

Таблица 4

Table 4

Параметры уравнения зависимости диаметра на высоте 1,3 м от высоты пня
Dependence of the volume of the butt part on the diameter at breast height

Район происхождения семян Region of origin of seeds	Параметры уравнения $DBH = 10d(a_1 + a_2^{ha_3})$ Equation parameter $DBH = 10d(a_1 + a_2^{ha_3})$		
	a_1	a_2	a_3
Северный Northern	0,0770	0,0168	1,139
Центральный Central	0,0747	0,0180	1,193
Южный Southern	0,0724	0,0193	1,246
Германия Germany	0,0717	0,0197	1,264
По всей выборке For the entire sample	0,0741	0,0184	1,208

Таблица 5

Table 5

Зависимость объема комлевой части от диаметра на высоте груди дерева (DBH),
высоты от основания ствола и географического происхождения
Dependence of the volume of the butt part on the diameter at breast height (DBH),
height from the base of the trunk and geographical origin

DBH, см	Высота от основания ствола, м Height from the base of the trunk, m												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Северный лесосеменной район Northern forest seed region													
20	0,0033	0,0066	0,0097	0,0127	0,0155	0,0183	0,0209	0,0234	0,0259	0,0282	0,0304	0,0326	0,0347
24	0,0052	0,0103	0,0151	0,0198	0,0242	0,0285	0,0327	0,0366	0,0404	0,0441	0,0476	0,0509	0,0542
28	0,0075	0,0148	0,0218	0,0285	0,0349	0,0411	0,0470	0,0527	0,0582	0,0635	0,0685	0,0733	0,0780
32	0,0102	0,0201	0,0296	0,0388	0,0475	0,0560	0,0640	0,0718	0,0792	0,0864	0,0932	0,0998	0,1062
36	0,0134	0,0263	0,0387	0,0506	0,0621	0,0731	0,0836	0,0938	0,1035	0,1128	0,1218	0,1304	0,1387
40	0,0169	0,0332	0,0490	0,0641	0,0786	0,0925	0,1059	0,1187	0,1310	0,1428	0,1541	0,1650	0,1755
44	0,0209	0,0410	0,0604	0,0791	0,0970	0,1142	0,1307	0,1465	0,1617	0,1763	0,1903	0,2037	0,2166
48	0,0253	0,0497	0,0731	0,0957	0,1174	0,1382	0,1581	0,1773	0,1957	0,2133	0,2302	0,2465	0,2621
52	0,0301	0,0591	0,0870	0,1139	0,1397	0,1644	0,1882	0,2110	0,2328	0,2538	0,2740	0,2934	0,3120
56	0,0353	0,0694	0,1021	0,1337	0,1639	0,1930	0,2208	0,2476	0,2733	0,2979	0,3216	0,3443	0,3661
60	0,0409	0,0804	0,1185	0,1550	0,1901	0,2238	0,2561	0,2872	0,3169	0,3455	0,3730	0,3993	0,4246
Центральный лесосеменной район Central forest seed region													
20	0,0036	0,0070	0,0103	0,0134	0,0164	0,0193	0,0221	0,0247	0,0272	0,0296	0,0319	0,0340	0,0361
24	0,0055	0,0109	0,0160	0,0210	0,0257	0,0302	0,0345	0,0386	0,0425	0,0462	0,0498	0,0532	0,0564
28	0,0080	0,0157	0,0231	0,0302	0,0370	0,0434	0,0496	0,0555	0,0612	0,0665	0,0717	0,0766	0,0813

Окончание табл. 5
The end of table 5

ДВН, см	Высота от основания ствола, м Height from the base of the trunk, m												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
32	0,0109	0,0214	0,0314	0,0411	0,0503	0,0591	0,0675	0,0756	0,0833	0,0906	0,0976	0,1043	0,1106
36	0,0142	0,0279	0,0411	0,0537	0,0657	0,0772	0,0882	0,0987	0,1087	0,1183	0,1274	0,1362	0,1445
40	0,0180	0,0353	0,0520	0,0679	0,0832	0,0977	0,1117	0,1249	0,1376	0,1497	0,1613	0,1723	0,1829
44	0,0222	0,0436	0,0641	0,0838	0,1027	0,1207	0,1378	0,1542	0,1699	0,1849	0,1991	0,2128	0,2258
48	0,0269	0,0528	0,0776	0,1014	0,1242	0,1460	0,1668	0,1866	0,2056	0,2237	0,2409	0,2574	0,2732
52	0,0320	0,0628	0,0924	0,1207	0,1478	0,1737	0,1985	0,2221	0,2447	0,2662	0,2867	0,3064	0,3251
56	0,0375	0,0737	0,1084	0,1417	0,1735	0,2039	0,2330	0,2607	0,2871	0,3124	0,3365	0,3596	0,3816
60	0,0435	0,0854	0,1257	0,1643	0,2012	0,2365	0,2702	0,3023	0,3330	0,3623	0,3903	0,4170	0,4425
Южный лесосеменной район Southern forest seed region													
20	0,0038	0,0074	0,0109	0,0143	0,0174	0,0205	0,0233	0,0261	0,0286	0,0311	0,0334	0,0356	0,0377
24	0,0059	0,0116	0,0171	0,0223	0,0272	0,0320	0,0364	0,0407	0,0447	0,0486	0,0522	0,0557	0,0590
28	0,0085	0,0167	0,0246	0,0321	0,0392	0,0460	0,0525	0,0586	0,0644	0,0700	0,0752	0,0802	0,0849
32	0,0116	0,0228	0,0335	0,0437	0,0534	0,0627	0,0714	0,0798	0,0877	0,0952	0,1024	0,1091	0,1156
36	0,0151	0,0297	0,0437	0,0570	0,0697	0,0818	0,0933	0,1042	0,1146	0,1244	0,1337	0,1425	0,1509
40	0,0192	0,0376	0,0553	0,0722	0,0883	0,1036	0,1181	0,1319	0,1450	0,1574	0,1692	0,1804	0,1910
44	0,0236	0,0464	0,0683	0,0891	0,1090	0,1279	0,1458	0,1628	0,1790	0,1943	0,2089	0,2227	0,2358
48	0,0286	0,0562	0,0826	0,1078	0,1319	0,1547	0,1764	0,1970	0,2166	0,2351	0,2528	0,2695	0,2854
52	0,0341	0,0669	0,0983	0,1283	0,1569	0,1841	0,2099	0,2345	0,2578	0,2798	0,3008	0,3207	0,3396
56	0,0400	0,0785	0,1154	0,1506	0,1842	0,2161	0,2464	0,2752	0,3025	0,3284	0,3530	0,3764	0,3985
60	0,0463	0,0910	0,1338	0,1747	0,2136	0,2506	0,2858	0,3191	0,3508	0,3809	0,4094	0,4365	0,4622
Германия Germany													
20	0,0039	0,0076	0,0111	0,0145	0,0178	0,0208	0,0238	0,0265	0,0291	0,0316	0,0340	0,0362	0,0383
24	0,0060	0,0119	0,0174	0,0227	0,0278	0,0326	0,0371	0,0414	0,0455	0,0494	0,0530	0,0565	0,0598
28	0,0087	0,0171	0,0251	0,0327	0,0400	0,0469	0,0535	0,0597	0,0655	0,0711	0,0764	0,0814	0,0861
32	0,0118	0,0232	0,0341	0,0446	0,0545	0,0638	0,0728	0,0812	0,0892	0,0968	0,1040	0,1108	0,1172
36	0,0155	0,0303	0,0446	0,0582	0,0711	0,0834	0,0950	0,1061	0,1165	0,1264	0,1358	0,1447	0,1531
40	0,0196	0,0384	0,0564	0,0736	0,0900	0,1055	0,1203	0,1342	0,1475	0,1600	0,1719	0,1831	0,1938
44	0,0241	0,0474	0,0697	0,0909	0,1111	0,1303	0,1485	0,1657	0,1821	0,1975	0,2122	0,2261	0,2392
48	0,0292	0,0574	0,0843	0,1100	0,1345	0,1577	0,1797	0,2005	0,2203	0,2390	0,2568	0,2735	0,2894
52	0,0348	0,0683	0,1003	0,1309	0,1600	0,1876	0,2138	0,2387	0,2622	0,2845	0,3056	0,3255	0,3445
56	0,0408	0,0801	0,1178	0,1537	0,1878	0,2202	0,2510	0,2801	0,3077	0,3338	0,3586	0,3821	0,4043
60	0,0473	0,0929	0,1366	0,1782	0,2178	0,2554	0,2911	0,3249	0,3569	0,3872	0,4159	0,4431	0,4689

Выводы

По данным обмеров модельных деревьев в спелых культурах сосны выявлено, что по возрастанию величины относительного сбega и объема древесины комлевой части ствола районы происхождения семян ранжируются следующим образом: северный, центральный, южный, Германия. Для прогнозирования относительного сбega

по высоте пня и для перехода от диаметра пня к диаметру на высоте 1,3 м предложены эмпирические модели с учетом географического происхождения культур сосны. Средняя абсолютная ошибка определения относительного сбega нижней части ствола по полученной регрессионной модели смешанных эффектов не превышает 3,5 %.

Список источников

- Вайс А. А. Моделирование образующей формы нижней части деревьев березы (*Betula pendula*) в условиях Средней Сибири // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 3 (27). С. 50–52.
- Варенцова Е. Ю., Николаева М. А. Фитопатологическое состояние сосны и ели в географических культурах, заложенных в Ленинградской области // X Чтения памяти О. А. Катаева : матер. Междунар. конф., Санкт-Петербург, 22–25 октября 2018 г. / под ред. Д. Л. Мусолина, А. В. Селиховкина. Т. 2. СПб. : СПб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, 2018. С. 13–14.
- Гайфуллина А. Р., Духтанова Н. В. Рост и состояние географических культур сосны в Завьяловском лесничестве Удмуртской Республики // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2008. № 3 (17). С. 59–60.
- Географические культуры сосны в Лесной опытной даче Тимирязевской академии: к 180-летию М. К. Турского / В. Д. Наумов, Н. Л. Поветкина, А. В. Лебедев, А. В. Гемонов. М. : МЭСХ, 2019. 182 с.
- Забавская Л. Н., Вайс А. А. Использование функции Нартис для описания образующей нижней части стволов деревьев сосны в подтаежно-лесостепных условиях предгорной части Восточного Саяна // Молодежь и наука. 2016. № 5. С. 58.
- Капительянов П. А., Вайс А. А. Сбег нижней части стволов сосны в условиях Бирюсинского участкового лесничества // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40. № 2. С. 121–127. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-2-121-127
- Кузьмин С. Р. Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30. № 1–2. С. 106–110.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р. Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24. № 4–5. С. 454–460.
- Лебедев А. В., Кузьмичев В. В. Регрессионные модели смешанных эффектов в лесохозяйственных исследованиях // Сибирский лесной журнал. 2021. № 1. С. 13–20. DOI: 10.15372/SJFS20210102
- Лажнев Д. В., Лебедев А. В. Трансформация структуры сосновых формаций в урбанизированных экосистемах Москвы // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. 2023. № 2 (46). С. 74–88. DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.5
- Максимов С. А., Марущак В. Н. Количественное определение селекционной ценности климатипов сосны обыкновенной на примере географических культур Казахстана // Аграрный вестник Урала. 2010. № 9 (75). С. 120–125.
- Михайлова М. И., Чернышов М. П. Особенности строения географических лесных культур сосны обыкновенной по диаметру // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 1 (41). С. 46–55. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4

- Модель сбегания комлевой части стволов основных древесных пород хвойно-широколиственных лесов Среднего Поволжья / В. Л. Черных, Л. В. Черных, Д. В. Черных, С. А. Денисов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия : Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 2 (54). С. 40–54. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.2.40
- Павлов И. Н., Барабанова О. А. Влияние географического происхождения сосны обыкновенной на форму ствола // Лесной и химический комплексы, проблемы и решения : сб. ст. по матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Сиб. гос. технол. ун-та. Красноярск, 2005. Т. 2. С. 169–179.
- Полянин И. А., Макаров В. Е. Изготовление технологической щепы из некондиционной и пневой древесины с последующей ее переработкой // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 10–2. С. 292–297.
- Раевский Б. В. Ход роста географических культур сосны обыкновенной в Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 6 (119). С. 65–69.
- Рёбко С. В., Поплавская Л. Ф. Рост климатипов сосны обыкновенной в географических культурах // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона : матер. Междунар. науч.-практ. форума, Хабаровск, 25–26 октября 2012 г. Хабаровск : Тихоокеан. гос. ун-т, 2013. С. 159–162.
- Скрыльникова А. Ю., Мячина Д. Ю., Бастаева Г. Т. Сохранность некоторых климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Национального парка «Бузулукский бор» // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2013. № 37. С. 66–70.
- Тарасова В. В., Милютин Л. И., Бенькова В. Е. Радиальный рост климатипов сосны обыкновенной в географических культурах (Красноярская лесостепь) // Лесное хозяйство. 2008. № 2. С. 40–41.
- Шегельман И. Р. Технология и техника расчистки лесных площадей с заготовкой пнево-корневой древесины для биоэнергетики // Инженерный вестник Дона. 2012. № 2 (20). С. 475–478.
- Lebedev A., Kuzmichev V. Verification of two- and three-parameter simple height-diameter models for birch in the european part of Russia // Journal of Forest Science. 2020. Vol. 66. № 9. P. 375–382. DOI: 10.17221/76/2020-JFS
- Mátyás C., Balázs P., Nagy L. Climatic Stress Test of Scots Pine Provenances in Northeastern Europe Reveals High Phenotypic Plasticity and Quasi-Linear Response to Warming // Forests. 2023. № 14. 1950. DOI: 10.3390/f14101950
- The influence of seed origin on stand variables of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in European Russia according to longterm observations / A. V. Lebedev, A. V. Gemonov, V. M. Gradusov [et al.] // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2021. № 677. P. 052116. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052116

References

- Gaifullina A. R., Dukhtanova N. V. Growth and condition of geographical pine plantations in the Zavyalovsky forestry of the Udmurt Republic // Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2008. № 3 (17). P. 59–60. (In Russ.)
- Geographical Pine Plantations in the Forest Experimental Station of the Timiryazev Academy / V. D. Naumov, N. L. Povetkina, A. V. Lebedev, A. V. Gemonov : to the 180th Anniversary of M. K. Turksy. Moscow : MESCH, 2019. 182 p.
- Kashtalyanov P. A., Vais A. A. Runoff of the lower part of pine trunks in the conditions of Biryusinsky district forestry // Conifers of the boreal zone. 2022. Vol. 40. № 2. P. 121–127. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-2-121-127 (In Russ.)
- Kuzmin S. R. Dynamics of radial growth of Scots pine in geographical plantations on soddy-podzolic sandy soil // Conifers of the boreal zone. 2012. Vol. 30. № 1–2. P. 106–110. (In Russ.)

- Kuzmina N. A., Kuzmin S. R.* Resistance of Scots pine of different origin to fungal pathogens in geographical plantations of the Angara region // *Conifers of the boreal zone*. 2007. Vol. 24. № 4–5. P. 454–460. (In Russ.)
- Lebedev A. V., Kuzmichev V. V.* Mixed effects regression models in forestry research // *Sibirskij Lesnoj Zurnal = Sib. J. For. Sci.* 2021. № 1. P. 13–20. DOI: 10.15372/SJFS20210102 (In Russ.)
- Lebedev A., Kuzmichev V.* Verification of two- and three-parameter simple height-diameter models for birch in the European part of Russia // *Journal of Forest Science*. 2020. Vol. 66. № 9. P. 375–382. DOI: 10.17221/76/2020-JFS
- Lezhnev D. V., Lebedev A. V.* Structural transformation of pine formations in urbanized ecosystems of Moscow // *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University*. 2023. № 2(46). P. 74–88. DOI: 10.32516/2303-9922.2023.46.5 (In Russ.)
- Maksimov S. A., Marushchak V. N.* Quantitative determination of the breeding value of Scots pine climatypes using the example of geographical plantations of Kazakhstan // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2010. № 9 (75). P. 120–125. (In Russ.)
- Mátyás C., Balázs P., Nagy L.* Climatic Stress Test of Scots Pine Provenances in Northeastern Europe Reveals High Phenotypic Plasticity and Quasi-Linear Response to Warming // *Forests*. 2023. № 14. 1950. DOI: 10.3390/f14101950
- Mihaylova M. I., Chernyshov M. P.* Structural features of provenance trial plantations of pine in terms of diameter // *Forestry Engineering Journal*. 2021. Vol. 11. № 1 (41). P. 46–55. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4 (In Russ.)
- Model of Trunk Butt Taper of the Principal Tree Species of Mixed Coniferous Broad-Leaved Forests in the Middle Volga Region. / *V. L. Chernykh, L. V. Chernykh, D. V. Chernykh, S. A. Denisov* // *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2022. № 2 (54). P. 40–54. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.2.40 (In Russ.)
- Pavlov I. N., Barabanova O. A.* The influence of the geographical origin of Scots pine on the shape of the trunk // *Forest and chemical complexes, problems and solutions, collection of articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Siberian State Technological University*. Krasnoyarsk, 2005. Vol. 2. P. 169–179. (In Russ.)
- Polyanin I. A., Makarov V. E.* Manufacturing process of chips and pniowy substandard wood with its subsequent processing // *Modern high technology*. 2016. № 10–2. P. 292–297. (In Russ.)
- Raevsky B. V.* Progress in the growth of geographical crops of Scots pine in Karelia // *Scientific notes of Petrozavodsk State University*. 2011. № 6 (119). P. 65–69. (In Russ.)
- Rebko S. V., Poplavskaya L. F.* Growth of Scots pine climatypes in geographical plantations // *Natural resources and ecology of the Far Eastern region : Materials of the International Scientific and Practical Forum, Khabarovsk, October 25–26, 2012*. Khabarovsk : Pacific State University, 2013. P. 159–162. (In Russ.)
- Shegelman I. R.* Technology and equipment for clearing forest areas with the harvesting of stump-root wood for bioenergy // *Engineering Bulletin of the Don*. 2012. № 2 (20). P. 475–478. (In Russ.)
- Skrylnikova A. Yu., Myachina D. Yu., Bastaeva G. T.* Preservation of some climatypes of Scots pine in geographical plantations of the Buzuluksky Bor National Park // *Current problems of the forestry complex*. 2013. № 37. P. 66–70. (In Russ.)
- Tarasova V. V., Milyutin L. I., Benkova V. E.* Radial growth of Scots pine climatypes in geographical cultures (Krasnoyarsk forest-steppe) // *Lesnoe hoziaistvo*. 2008. № 2. P. 40–41. (In Russ.)
- The influence of seed origin on stand variables of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in European Russia according to longterm observations / *A. V. Lebedev, A. V. Gemonov, V. M. Gradusov* [et al.] // *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2021. № 677. P. 052116. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052116

- Vais A. A.* Modeling of the aggregate low part of birch trees (*Betula pendula*) under the conditions of Middle Siberia // News of the Orenburg State Agrarian University. 2010. № 3 (27). P. 50–52. (In Russ.)
- Varentsova E. Yu., Nikolaeva M. A.* Phytopathological state of pine and spruce in geographical crops established in the Leningrad region // X Readings in memory of O.A. Kataev : Proceedings of the international conference, St. Petersburg, October 22–25, 2018. St. Petersburg : St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov, 2018. P. 13–14. (In Russ.)
- Zabavskaya L. N., Vais A. A.* Using «Harris» function to describe forming the bottom of the trunks of pine trees in the subtaiga-forest-steppe conditions of foothills of East Sayan // Youth and science. 2016. № 5. P. 58. (In Russ.)

Информация об авторах

Н. Н. Дубенок – академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
А. В. Лебедев – доктор сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

N. N. Dubenok – Academician of the RAS, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
A. V. Lebedev – Doctor of Agricultural Sciences.

Статья поступила в редакцию 24.10.2023; принята к публикации 02.02.2024.
The article was submitted 24.10.2023; accepted for publication 02.02.2024.
