



Материальная оценка стволов сосны (*Pinus sylvestris* L.) Костромской области

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

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

Владимир В. Гостев v.gostev@rgau-msha.ru <https://orcid.org/0000-0002-6843-3422>

Дарья Ю. Гостева, d.gosteva@rgau-msha.ru <https://orcid.org/0009-0000-1853-4762>

Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены основные исторические этапы развития лесотаксационных нормативов для оценивания сортиментной структуры древостоев Костромской области. Обзор современной отечественной и зарубежной литературы показывает, что актуальным методом сортиментной оценки является применение уравнений образующей древесного ствола. Уравнения образующей позволяют учитывать региональные особенности формирования стволов основных лесобразующих пород и адекватно предсказывать изменение диаметра с высотой, что позволяет производить качественную оценку материальной структуры и выхода сортиментов. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) относится к одной из основных лесобразующих пород Костромской области и выступает источником ценных сортиментов, точность учёта которых оказывает существенное влияние на экономическую эффективность ведения лесного хозяйства региона. Анализ развития и применяемых в практике ведения лесного хозяйства методов сортиментной и материальной оценки стволов в Костромской области показывает, что отсутствуют региональные нормативы, отвечающие современным требованиям. Поэтому целью исследования является оценка материальной структуры стволов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Костромской области с использованием уравнения образующей и разработка на базе полученной модели новых лесотаксационных нормативов. По данным анализа стволов сосны, произрастающих в Костромской области, на основании численного интегрирования образующей древесного ствола произведен расчёт выхода деловой древесины различных категорий крупности, дров и отходов. Для оценки качества моделирования использованы общепринятые метрики соответствия: квадратный корень из среднеквадратической ошибки (*RMSE*), средний процент абсолютной ошибки (*MARE*), средняя абсолютная ошибка (*MAE*), ошибка среднего смещения (*MBE*) и коэффициент детерминации (R^2). Предложена методика моделирования материальной структуры стволов деревьев сосны, базирующаяся на использовании уравнения образующей ствола. С применением модели образующей получены таблицы материальной оценки стволов сосны Костромской области. Сопоставление полученных данных с действующими лесотаксационными нормативами показало, что применение модели позволяет повысить точность учёта крупной деловой древесины высших разрядов высот до 30%. При этом корректируются значения выхода средней и мелкой деловой древесины, а также дров и отходов, что приведёт к более рациональному использованию сосновых стволов и будет способствовать повышению доходности ведения лесного хозяйства в регионе. Применение предложенной методики в сочетании с современными цифровыми технологиями будет способствовать упрощению процедуры материальной оценки лесосечного фонда и сокращению финансовых и временных затрат на ее проведение.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, сортиментные таблицы, сортиментация, основные древостои, образующая ствола, Костромская область, таблицы материальной оценки

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

Благодарности: Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Материальная оценка стволов сосны (*Pinus sylvestris* L.) Костромской области / Н. Н. Дубенок, А. В. Лебедев, В. В. Гостев, Д. Ю. Гостева // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т.15. – № 2 (58). – С. 224-246. – Библиогр.: с. 240-245 (41 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/14>.

Поступила 26.11.2024. Пересмотрена 07.04. 2025. Принята 26.05. 2025. Опубликована онлайн 26.06.2025.

Article

Material assessment of Pine trunks (*Pinus sylvestris* L.) in Kostroma region

Nikolay N. Dubenok, ndubenok@rgau-msha.ru  <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>

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

Vladimir V. Gostev , v.gostev@rgau-msha.ru  <https://orcid.org/0000-0002-6843-3422>

Daria Yu. Gosteva, d.gosteva@rgau-msha.ru  <https://orcid.org/0009-0000-1853-4762>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract

The main historical stages in the development of forest inventory standards for evaluating the timber assortment structure of forest stands in the Kostroma region have been examined. A review of modern domestic and international literature indicates that the most relevant method for timber assortment assessment is the use of stem taper equations. These equations account for regional characteristics in the formation of trunks of primary forest-forming species and reliably predict changes in diameter along the height of the tree, enabling a qualitative evaluation of the material structure and yield of timber assortments. Scot's pine (*Pinus sylvestris* L.) is one of the principal forest-forming species in the Kostroma region and a source of valuable timber assortments. The precision of their estimation significantly affects the economic efficiency of forest management in the region. An analysis of the methods currently used in forest management practices for timber assortment and material assessment of tree trunks in the Kostroma region reveals a lack of regional standards that meet modern requirements. Therefore, the objective of this study is to assess the material structure of Scots pine trunks in the Kostroma region using stem taper equations and to develop new forest inventory standards based on the resulting model. Using data from the analysis of pine trunks grown in the Kostroma region, the yield of merchantable wood (categorized by size), firewood, and waste was calculated through numerical integration of the stem taper equation. To evaluate the quality of the modeling, widely accepted metrics were employed: Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Bias Error (MBE), and the Coefficient of Determination (R^2). A methodology for modeling the material structure of pine tree trunks was proposed, based on the stem taper equation. Using this model, tables for the material assessment of pine trunks in the Kostroma region were developed. A comparison of the results with current forest inventory standards demonstrated that the application of the stem taper model improves the accuracy of accounting for high-quality large-diameter merchantable wood by up to 30%. Additionally, adjustments were made to the estimated yields of medium and small merchantable wood, firewood, and waste. These

refinements will enable more rational utilization of pine trunks and enhance the profitability of forest management in the region. The proposed methodology, combined with modern digital technologies, will streamline the material assessment of forest resources and reduce the financial and time costs associated with its implementation.

Keywords: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), timber assortment tables, product specification, pine stands, stem taper, Kostroma region, material assessment tables.

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

Acknowledgments: Authors thanks the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Dubenok N. N., Lebedev A. V., Gostev V. V., Gosteva D. Yu. (2025). Material assessment of Pine trunks (*Pinus sylvestris* L.) in Kostroma region. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 2 (58), pp. 224-246 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/14>.

Received 26.11.2024. *Revised* 07.04.2025. *Accepted* 26.05.2025. *Published online* 26.06.2025.

Введение

Костромская область занимает второе место по площади в Центральном федеральном округе Российской Федерации, а лесистость региона по данным Федерального агентства лесного хозяйства составляет 74,1 %. К главным лесообразующим породам относится сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), круглая древесина и продукты переработки которой пользуются значительным спросом на рынке. Экономика региона на протяжении длительного времени неразрывно связана с ведением лесного хозяйства и лесопромышленным комплексом [1], повышение эффективности которых требует проведения научных исследований и внедрения разработок.

Леса Костромской области являются источником высококачественной древесины. Еще в середине XIX века в пойме реки Унжа, в окрестностях города Макарьева, были выделены корабельные рощи, а сосновые леса взяты под надзор Лесным ведомством. Помимо нужд флота высокотоварная древесина требовалась во многих отраслях хозяйства – от строительства зданий и железных дорог до изготовления предметов быта, искусства и музыкальных инструментов, а отходы деревообработки шли на дрова [2].

Возросшие в XIX веке объемы заготовки древесины требовали её учёта, качество и точность методов которого в Костромской области изменялись

с развитием лесной науки. Необходимы были нормативы, применение которых позволяло оценивать запас спелого леса на корню и проводить анализ его сортиментной структуры. Первые упоминания о сортиментных таблицах для лесов региона относятся к материалам для оценки земель Костромской губернии, опубликованным в 1908 году [3]. Входом в таблицы являлись порода и возраст, а запас древесины подразделялся на строевую и дровяную части, выраженные в процентах. Нормативы были составлены для хвойных пород (сосна и ель), а с увеличением возраста древостоев в них прослеживаются несогласованность в изменении процента выхода строевой древесины. Соотношения между строевой и дровяной древесиной в таблицах не могли считаться достаточно обоснованными и использовались в качестве приержек при оценивании сортиментной структуры древостоев.

В период с 1908 по 1917 годы А.А. Крюденером были составлены и опубликованы массовые таблицы и таблицы сбega для основных лесообразующих пород европейской части России [4-6], территорией применения которых была и Костромская губерния. Входом в таблицы были такие показатели, как древесная порода, лесорастительная область, тип местообитания, тип деревьев. А.А. Крюденером впервые в нашей стране был создан наиболее полный набор таксационных нормативов для подеревного отпуска леса.

Природопользование

В 1914 году опубликованы таблицы сортиментов древесины для казенных лесных дач Костромской губернии [7]. В них впервые объём строевого леса был подразделён на категории крупности, применяемые и в настоящее время: крупная, средняя и мелкая древесина. Входом в таблицы являлись разряд массовых таблиц, порода и диаметр на высоте груди [8]. В 1925 году таблицы сортиментов были дополнены, переизданы и утверждены на расширенном техническом совещании при Костромском гублесотделе [9].

К 1927 году, когда М.М. Орловым была разработана новая классификация сортиментов для учёта леса на корню, в Костромской губернии была установлена следующая градация сортиментов: крупные – бревна в верхнем отрубе в коре диаметром 31 см и выше при длине не менее 4,3 м; средние – брёвна диаметром в верхнем отрубе 22-30 см и длиной 4,3 м от комля; мелкие – при диаметре в верхнем отрубе 13-21 см и длине 4,3 м [10].

В 1929 году Костромской гублесотдел для расчёта выхода крупной, средней и мелкой древесины утвердил новые нормативы по выделению сортиментов, в основу которых легли таблицы А.А. Крюденера - М.К. Турского [11]. Входом являлись длина бревна и диаметр в верхнем отрезе. Объём и выход древесины различных категорий крупности в таблицах приводился для брёвен длиной от 2 до 11 м с диаметром от 4 до 32 см. По правилам отпуска леса в Костромской губернии для учёта брёвен, длина которых превышала 11 метров, производилось измерение диаметра на 11 метрах и в верхнем отрезе, после чего общий объём определялся сложением объёмов комлевой и вершинной частей.

В 1929 году Костромская губерния была упразднена, большая часть территории вошла в состав Ивановской промышленной и Горьковской областей. В 1944 году создана Костромская область в современных границах [12]. В 1920-1930 годы предпринимаются попытки приведения нормативов для оценки выхода сортиментов, заготавливаемых в различных частях РСФСР, к единому виду. В этот период Ю.Н. Полянским составлен краткий справочник лесоустроителя, включающий таблицы объёмов

и товаризации леса [13]. В справочнике, который переиздавался несколько раз, содержались критерии для разделения стволов на категории технической годности и их объёмы для основных лесообразующих пород.

К 1930 году в СССР остро встала проблема стандартизации сортиментных нормативов. В разных губерниях применялись несопоставимые между собой критерии для выделения и исчисления сортиментов. Отсутствие предварительного согласования при установлении размеров и процента выхода сортиментов привело к существенным различиям понятий крупной, средней и мелкой древесины. Решением этой задачи занимался Н.П. Анучин, исследования которого были направлены на рационализацию использования древесных ресурсов и увеличение доходности ведения лесного хозяйства. Учёным составлены сортиментные и товарные таблицы по единому принципу для всей территории СССР, которые применялись на практике ни одно десятилетие и выдержали семь переизданий (первое вышло в 1931 году [14], а седьмое, переработанное и дополненное, в 1981 [15]).

Н.П. Анучиным разработаны таблицы материальной оценки лесосек для основных лесообразующих пород, входом в которые являлись разряд высот, диаметр на высоте 1,3 м и высота. Рассчитаны объёмы стволов в коре и без нее, выход крупной (от 25 см в верхнем отрезе), средней (от 14 до 24 см) и мелкой (до 13 см) древесины, а также дров и отходов. Непосредственно сортиментные таблицы Н.П. Анучина включали сведения о выходе из деловых стволов основных лесообразующих пород таких пиломатериалов установленного образца, как пиловочник, шпальник, строительное бревно, балансы, рудничные стойки, а также технологического сырья, дров и отходов.

В 1986 году результатом обобщения В.В. Загребевым и А.Ф. Барановым работ по сортиментации лесных насаждений стало издание сортиментных и товарных таблиц для лесов центральных и южных районов Европейской части РСФСР [16]. Входом в нормативы служат разряды высот. По таблицам можно установить общий запас деловой древесины с подразделением на классы крупности, выход основных пиломатериалов установленного образца, технологического сырья, дров и отходов как в объёмных, так и в относительных величинах. Составленные в соответствии с государственными отраслевыми стандартами эти нормативы применяются и в настоящее время при материально-денежной оценке лесосек Костромской области.

Шкалы разрядов высот, которые выступают входом в действующие сортиментные таблицы и таблицы материально-денежной оценки лесосек обладают рядом недостатков, что приводит к значительным неточностям при обосновании региона допустимого применения нормативов и оценивании выхода деловой древесины различной крупности, а также дров и отходов [17]. Оценку объёма стволов деревьев и выхода древесины в современных условиях наиболее эффективно выполнять с помощью математических зависимостей [18-21].

Актуальным является вопрос создания новых нормативов для сортиментации древостоев основных лесобразующих пород, учитывающих региональные особенности их роста и развития, применение которых будет способствовать увеличению эффективности использования древесных стволов, получению ценных сортиментов и снижению объёма отходов при раскряжёвке [22-24]. Основой для таких нормативов могут стать уравнения образующей, с большой точностью отражающие изменения диаметра и формы древесного ствола с высотой [25-32].

$$d_i = \sqrt{D^2 \left(\frac{H-h_i-1,904+1,904 \exp\left(-\frac{H-h_i}{1,904}\right)+0,578(H-h_i) \exp\left(-\frac{h_i}{0,471}\right)}{H-1,3-1,904+1,904 \exp\left(-\frac{H-1,3}{1,904}\right)+0,578(H-1,3) \exp\left(-\frac{1,3}{0,471}\right)} \right)}, \quad (1)$$

где d_i – диаметр дерева на высоте h_i , см; D – диаметр дерева на высоте 1,3 м, см; H – высота дерева, м.

Критерии выделения деловой древесины, дров и отходов. К деловым относились сортименты, диаметр которых в верхнем отрезе составлял от 3 см. К дровам и отходам – отрезки ствола с диаметром до 3 см, верхинка и кора. По толщине в верхнем отрезе

Уравнения образующей позволяют оценивать объём как всего хлыста, так и отдельных сортиментов различной длины за счёт получения сведений о диаметре в коре или без коры на любой высоте [33-34]. Кроме того, уравнения образующей стволов можно использовать для составления сортиментных таблиц на основании длины отдельных хлыстов или конкретных пороговых значений диаметра [35-37].

Анализ развития и применяемых в практике ведения лесного хозяйства методов сортиментной и материальной оценки стволов в Костромской области показывает, что отсутствуют региональные нормативы, отвечающие современным требованиям. Поэтому **цель исследования** – анализ материальной структуры стволов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Костромской области с использованием уравнения образующей и разработка на базе полученной модели новых лесотаксационных нормативов для материальной оценки.

Материалы и методы

Модель образующей древесного ствола. Расчет значений диаметров от комля к вершине для определения выхода деловой древесины различных категорий крупности, дров и отходов производилось с помощью уравнения (1), предложенного в работах О. Garcia [38]. Оценка его параметров выполнена ранее при моделировании образующей древесного ствола сосны Костромской области [28, 29]. Для нахождения значений диаметров без коры применялось уравнение $y = 0,9379x + 0,121$ (где y – диаметр без коры, см; x – диаметр в коре, см) [28]. По этим уравнениям методом численного интегрирования образующей древесного ствола вычислялись объёмы деловой древесины, дров и отходов.

деловая древесина в соответствии с постановлением Правительства РФ от 22 мая 2007 г. № 310 «О ставках платы за единицу объёма лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка,

Природопользование

находящегося в федеральной собственности» распределялась по категориям крупности. К мелкой относились лесоматериалы от 3 до 12 см включительно, к средней – от 13,0 до 24,0 см и к крупной от 25,0 см.

Верификация модели. Для верификации модели использованы данные сортиментации 690 древесных стволов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Костромской области. Подробная характеристика выборки показана в работе [28]. Набор данных характеризует господствующие и согосподствующие деревья в сосновых древостоях мезофильных и мезо-гигрофильных боров, суборей и сложных суборей, которые относятся к типичным условиям произрастания сосны в регионе.

Оценка соответствия рассчитанных по модели значений выхода деловой древесины, дров и отходов фактическим данным производилось с использованием общепринятых критериев: квадратный корень из среднеквадратической ошибки (*RMSE*), средний процент абсолютной ошибки (*MAPE*), средняя абсолютная ошибка (*MAE*), ошибка среднего смещения (*MBE*) и коэффициент детерминации (R^2) [39]. Формулы для расчёта метрик представлены в таблице 1.

Вычисления производились в Python с библиотеками Pandas, NumPy, SciPy; с использованием авторских программ [40, 41] и Microsoft Office Excel 2016.

Таблица 1

Формулы для расчёта применяемых метрик соответствия

Table 1

Formulas for calculating the applicable compliance metrics

№	Наименование метрики/Name of the metric	Формула/ Formula
1	Квадратный корень из среднеквадратической ошибки (<i>RMSE</i>)/ The square root of the standard error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$
2	Средний процент абсолютной ошибки (<i>MAPE</i>)/ Average percentage of absolute error	$MAPE = 100 \times \frac{\sum y_i - \hat{y}_i }{\sum y_i} / n$
3	Средняя абсолютная ошибка (<i>MAE</i>)/ Average absolute error	$MAE = \frac{\sum y_i - \hat{y}_i }{n}$
4	Ошибка среднего смещения (<i>MBE</i>)/ Average offset error	$MBE = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)}{n}$
5	Коэффициент детерминации (R^2)/ Coefficient of determination	$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$

Примечание: k – количество параметров модели; n – количество наблюдений; y_i – фактическое значение; \hat{y}_i – предсказанное по модели значение;

Источник: систематический поиск авторов

Source: systematic search for authors

Результаты

Анализ качества модели. Соотношение рассчитанных и фактических значений выхода крупной, средней и мелкой деловой древесины, дров и отходов представлено на рисунке 1. Для всех категорий древесины характерно равномерное размещение точек вдоль линии тренда. Между рассчитанными и фактическими значениями объемов прослеживается высокая степень соответствия. Минимальный разброс точек фактических и предсказанных значений характерен для таких признаков, как

объём крупной деловой древесины и объём дров и отходов. Значения коэффициентов детерминации (для крупной деловой древесины $R^2 = 0,977$, для средней деловой древесины $R^2 = 0,962$, для мелкой деловой древесины $R^2 = 0,846$, для дров и отходов $R^2 = 0,973$) демонстрируют хорошее соответствие предсказанных с применением уравнения образующей значений фактическим данным.

Метрики соответствия между фактическими и предсказанными значениями выхода деловой древесины, дров и отходов в объёмных величинах пред-

Природопользование

ставлены в таблице 2. Наименьшее значение расхождения $RMSE = 0,010$ имеет объём мелкой деловой древесины, а наибольшее ($RMSE = 0,112$) получено для крупной деловой древесины. Близость значений средней абсолютной ошибки и ошибки среднего смещения к нулю для всех рассматриваемых признаков указывают на хорошее соответствие модели набору данных. Коэффициенты детерминации рассматриваемых признаков находятся в пределах от 0,843 (объём мелкой деловой древесины) до 0,974 (дрова и отходы), что указывает на достаточно хорошее качество модели. Значения среднего процента абсолютной ошибки расположились в пределах от 12,491% (объём дров и отходов) до 22,081% (средняя деловая древесина). Значительные расхождения между фактическими и предсказанными значениями объясняются наличием у данной метрики соответствия артефакта, который проявляется в существенном завышении значений при сравнении объёмов стволов, близких к нулевой отметке и не имеющих хозяйственного значения.

Метрики качества, рассчитанные для фактических и предсказанных значений выхода древесины, выраженного в процентах от объема ствола, представлены в табл. 3. Значения $RMSE$ расположились в промежутке от 1,232 (выход дров и отходов) до 5,610 (средняя деловая древесина). Значения MBE указывают на наличие незначительного завышения предсказанных значений для выхода крупной (-0,165) и мелкой (-0,694) деловой древесины, а также

дров и отходов (-0,070). Значения $MAPE$ для крупной и средней деловой древесины, дров и отходов расположились в диапазоне от 6,806 (дрова и отходы) до 21,012 % (средняя деловая древесина). Доля объяснённой дисперсии для деловой древесины располагается в диапазоне от 0,956 до 0,985. Незначительная величина коэффициента детерминации для дров и отходов (0,470) объясняется наличием расхождений в несколько десятичных знаков между отдельными фактическими и предсказанными значениями данного признака, что вызывает занижение коэффициента детерминации, не оказывая при этом существенного воздействия на общую оценку качества моделирования.

Проведённое сопоставление фактических и предсказанных значений показало, что применение уравнения образующей древесного ствола сосны позволяет оценивать выход крупной, средней и мелкой деловой древесины, а также дров и отходов с достаточной точностью как в объёмных, так и в относительных величинах.

Новые нормативы материальной оценки стволов сосны. С применением уравнения образующей древесного ствола (1) составлена таблица для материальной оценки стволов сосны Костромской области, отражающая выход крупной, средней и мелкой деловой древесины, а также дров и отходов (табл. 4). Входом в таблицу являются диаметр на высоте 1,3 м и высота дерева. Предлагаемая таблица может применяться для деревьев с таксационными диаметрами от 8 до 80 см и высотой от 8 до 40 м.

Природопользование

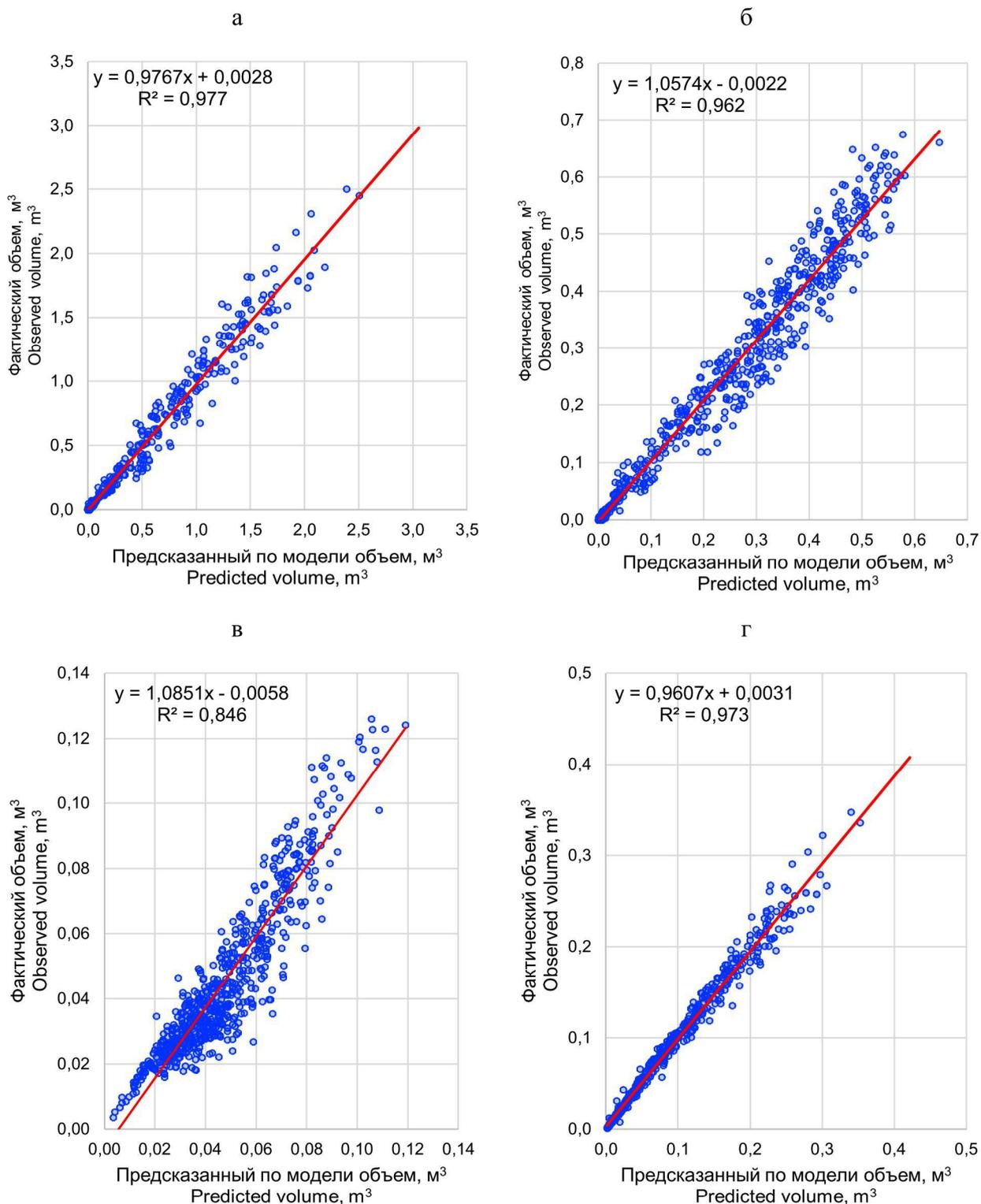


Рисунок 1. Соотношение рассчитанных и фактических значений: а) объема крупной деловой древесины, б) объема средней деловой древесины, в) объема мелкой деловой древесины, г) объема дров и отходов
Figure 1. Ratio of calculated and actual values: а) volume of large wood commodity, б) volume of medium wood commodity, в) volume of small wood commodity, г) volume of firewood and waste

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Природопользование

Таблица 2

Метрики соответствия фактических и предсказанных значений выхода деловой древесины, дров и отходов в объёмных величинах

Table 2

Metrics for compliance of actual and predicted values of wood commodity, firewood and waste yield in volumetric quantities

Показатель Indicator	<i>RMSE</i>	<i>MBE</i>	<i>MAE</i>	<i>MAPE</i>	R^2
Объём крупной деловой древесины, м ³ Volume of large wood commodity, m ³	0,112	-0,009	0,072	21,104	0,966
Объём средней деловой древесины, м ³ Volume of medium wood commodity, m ³	0,043	0,012	0,031	22,081	0,952
Объём мелкой деловой древесины, м ³ Volume of small wood commodity, m ³	0,010	-0,002	0,007	18,622	0,843
Объём дров и отходов, м ³ Volume of firewood and waste, m ³	0,012	0,000	0,006	12,491	0,974

Источник: собственные вычисления авторов
Source: authors' own calculations

Таблица 3

Метрики соответствия фактических и предсказанных значений выхода деловой древесины, дров и отходов в относительных величинах

Table 3

Metrics for compliance of actual and predicted values of wood commodity, firewood and waste yield in relative values

Показатель Indicator	<i>RMSE</i>	<i>MBE</i>	<i>MAE</i>	<i>MAPE</i>	R^2
Объём крупной деловой древесины, % Volume of large wood commodity, %	4,696	-0,165	3,198	17,767	0,972
Объём средней деловой древесины, % Volume of medium wood commodity, %	5,610	1,152	4,096	21,012	0,956
Объём мелкой деловой древесины, % Volume of small wood commodity, %	4,325	-0,694	2,546	20,728	0,985
Объём дров и отходов, % Volume of firewood and waste, %	1,232	-0,070	0,278	6,806	0,470

Источник: собственные вычисления авторов
Source: authors' own calculations

Природопользование

Диаметр на высоте 1,3 м, см Diameter at height 1.3 m, cm	Объём средней деловой древесины, м ³ , при высоте, м Volume of medium wood commodity m ³ , at height, m																																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40						
10	0,0499	0,0263	0,0102	0,0016																																			
12	0,1030	0,0809	0,0524	0,0259	0,0092	0,0009																																	
14	0,1486	0,1137	0,0867	0,0552	0,0258	0,0085																																	
16	0,1692	0,1243	0,0928	0,0582	0,0257	0,0079																																	
18	0,1518	0,1895	0,1836	0,1348	0,0991	0,0613	0,0256	0,0074																															
20	0,1671	0,2101	0,2011	0,1454	0,1055	0,0645	0,0256	0,0071																															
24	0,1826	0,2308	0,2186	0,1559	0,1121	0,0679	0,0257	0,0067																															
28	0,1596	0,1982	0,2516	0,2360	0,1664	0,1187	0,0713	0,0257	0,0065																														
32	0,1421	0,1718	0,2138	0,2726	0,2535	0,1766	0,1254	0,0747	0,0258	0,0062																													
36	0,1284	0,1519	0,1840	0,2295	0,2937	0,2710	0,1866	0,1322	0,0781	0,0259	0,0060																												
40	0,1364	0,1617	0,1963	0,2453	0,3148	0,2884	0,1967	0,1389	0,0816	0,0259	0,0058																												
44	0,1241	0,1445	0,1716	0,2087	0,2612	0,3359	0,3058	0,2067	0,1458	0,0851	0,0260	0,0057																											
48	0,1308	0,1526	0,1815	0,2211	0,2771	0,3572	0,3233	0,2168	0,1526	0,0886	0,0261	0,0055																											
52	0,0944	0,1057	0,1198	0,1376	0,1607	0,1914	0,2335	0,2930	0,3784	0,3407	0,2270	0,1595	0,0922	0,0262	0,0054																								
56	0,0807	0,0889	0,1106	0,1255	0,1444	0,1689	0,2014	0,2460	0,3090	0,3997	0,3581	0,2371	0,1663	0,0957	0,0263	0,0053																							
60	0,0769	0,0841	0,0926	0,1029	0,1155	0,1313	0,1512	0,1771	0,2114	0,2585	0,3250	0,4209	0,3754	0,2473	0,1732	0,0993	0,0264																						
64	0,0799	0,0874	0,0964	0,1072	0,1205	0,1370	0,1580	0,1853	0,2215	0,2710	0,3411	0,4422	0,3928	0,2575	0,1801	0,1028	0,0265																						
68	0,0762	0,0829	0,0908	0,1002	0,1115	0,1254	0,1428	0,1649	0,1935	0,2316	0,2836	0,3571	0,4635	0,4102	0,2677	0,1870	0,1064	0,0266																					
72	0,0729	0,0789	0,0859	0,0941	0,1039	0,1158	0,1304	0,1486	0,1717	0,2017	0,2417	0,2920	0,3732	0,4848	0,4276	0,2779	0,1939	0,1100	0,0267																				
76	0,0753	0,0815	0,0888	0,0974	0,1077	0,1201	0,1354	0,1544	0,1786	0,2100	0,2518	0,3089	0,3893	0,5061	0,4450	0,2881	0,2009	0,1135																					
80	0,0777	0,0842	0,0918	0,1008	0,1115	0,1244	0,1403	0,1602	0,1855	0,2183	0,2620	0,3215	0,4055	0,5274	0,4623	0,2984	0,2078																						
	0,0801	0,0869	0,0948	0,1041	0,1152	0,1287	0,1453	0,1661	0,1924	0,2266	0,2721	0,3342	0,4216	0,5487	0,4796	0,3086	0,2147																						
	0,0826	0,0896	0,0978	0,1074	0,1190	0,1331	0,1503	0,1719	0,1993	0,2350	0,2823	0,3469	0,4378	0,5700	0,4969	0,3188	0,2217																						
	0,0850	0,0922	0,1007	0,1080	0,1228	0,1374	0,1553	0,1778	0,2063	0,2433	0,2925	0,3596	0,4540	0,5913	0,5143	0,3291																							
	0,0874	0,0949	0,1037	0,1141	0,1266	0,1417	0,1604	0,1836	0,2133	0,2517	0,3028	0,3723	0,4701	0,6126	0,5316	0,3393																							
	0,0898	0,0976	0,1067	0,1175	0,1304	0,1461	0,1654	0,1895	0,2202	0,2601	0,3130	0,3850	0,4863	0,6339	0,5489																								
	0,0922	0,1002	0,1097	0,1208	0,1342	0,1504	0,1704	0,1954	0,2272	0,2685	0,3232	0,3978	0,5025	0,6552	0,5662																								
	0,0946	0,1029	0,1126	0,1242	0,1380	0,1548	0,1755	0,2013	0,2342	0,2769	0,3335	0,4105	0,5187	0,6765	0,5835																								
	0,0970	0,1056	0,1156	0,1275	0,1418	0,1592	0,1805	0,2073	0,2413	0,2853	0,3438	0,4233	0,5349	0,6978																									
	0,0994	0,1083	0,1186	0,1309	0,1456	0,1636	0,1856	0,2132	0,2483	0,2938	0,3541	0,4361	0,5512	0,7190																									
	0,1019	0,1090	0,1216	0,1343	0,1495	0,1679	0,1907	0,2191	0,2553	0,3022	0,3644	0,4488																											
	0,1043	0,1136	0,1246	0,1376	0,1533	0,1723	0,1958	0,2251	0,2624																														
	0,1067	0,1163	0,1276	0,1410	0,1571	0,1767	0,2009	0,2311	0,2694																														

Природопользование

Диаметр на высоте 1,3 м, см Diameter at height 1.3 m, cm	Объём мелкой деловой древесины, м ³ , при высоте, м Volume of small wood commodity m ³ , at height, m																																							
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40							
8																																								
10																																								
12																																								
14																																								
16																																								
18																																								
20																																								
24																																								
28																																								
32																																								
36																																								
40																																								
44																																								
48																																								
52																																								
56																																								
60																																								
64																																								
68																																								
72																																								
76																																								
80																																								

Природопользование

Диаметр на высоте 1,3 м, см Diameter at height 1.3 m, cm	Объём дров и отходов, м ³ , при высоте, м Volume of firewood and waste m ³ , at height, m																																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40						
8	0,002	0,002																																					
10	0,003	0,003	0,002																																				
12	0,005	0,005	0,004	0,002																																			
14	0,007	0,007	0,006	0,004	0,003																																		
16	0,009	0,010	0,008	0,006	0,004	0,003																																	
18	0,013	0,014	0,011	0,009	0,006	0,004	0,003																																
20	0,016	0,017	0,015	0,011	0,009	0,006	0,004	0,003																															
24		0,025	0,027	0,020	0,016	0,012	0,009	0,007	0,005	0,003																													
28		0,038	0,041	0,030	0,022	0,017	0,013	0,010	0,007	0,005	0,003																												
32			0,054	0,044	0,032	0,022	0,017	0,013	0,010	0,007	0,005	0,003																											
36			0,062	0,047	0,034	0,023	0,018	0,014	0,011	0,008	0,005	0,003	0,004																										
40			0,085	0,066	0,050	0,036	0,025	0,020	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004																									
44			0,112	0,090	0,070	0,053	0,038	0,026	0,021	0,016	0,012	0,009	0,006	0,004	0,004																								
48			0,144	0,119	0,095	0,075	0,056	0,041	0,028	0,022	0,017	0,013	0,009	0,006	0,004	0,004																							
52			0,152	0,125	0,101	0,079	0,060	0,043	0,029	0,023	0,018	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,004																						
56			0,192	0,160	0,132	0,106	0,083	0,063	0,045	0,031	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,004	0,004																						
60			0,202	0,169	0,138	0,111	0,087	0,066	0,048	0,032	0,026	0,020	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004																						
64			0,319	0,277	0,238	0,202	0,177	0,145	0,117	0,091	0,069	0,050	0,034	0,027	0,021	0,016	0,011	0,008																					
68			0,334	0,290	0,249	0,211	0,177	0,145	0,117	0,091	0,069	0,050	0,034	0,027	0,021	0,016	0,011	0,008	0,006																				
72			0,349	0,303	0,261	0,221	0,185	0,152	0,122	0,095	0,072	0,052	0,035	0,028	0,022	0,016	0,012	0,009	0,006	0,004																			
76			0,416	0,365	0,317	0,272	0,231	0,193	0,159	0,127	0,100	0,075	0,055	0,037	0,030	0,023	0,017	0,014	0,011	0,008	0,006	0,004																	
80			0,434	0,380	0,330	0,284	0,241	0,201	0,165	0,133	0,104	0,079	0,057	0,039	0,031	0,024	0,018	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004																
			0,452	0,396	0,344	0,295	0,250	0,209	0,172	0,138	0,108	0,082	0,059	0,040	0,032	0,025	0,019	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004															
			0,469	0,411	0,357	0,307	0,260	0,218	0,179	0,144	0,112	0,085	0,061	0,042	0,033	0,026	0,019	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004														
			0,487	0,427	0,371	0,318	0,270	0,226	0,185	0,149	0,117	0,088	0,064	0,043	0,035	0,027	0,020	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004													
			0,505	0,442	0,384	0,330	0,280	0,234	0,192	0,155	0,121	0,091	0,066	0,045	0,036	0,028	0,021	0,016	0,011	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004												
			0,522	0,458	0,398	0,342	0,290	0,242	0,199	0,160	0,125	0,095	0,068	0,046	0,037	0,029	0,022	0,017	0,012	0,009	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004											
			0,540	0,473	0,411	0,353	0,300	0,250	0,206	0,165	0,129	0,098	0,071	0,048	0,038	0,030	0,023	0,017	0,012	0,009	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004											
			0,558	0,489	0,425	0,365	0,309	0,259	0,213	0,171	0,134	0,101	0,073	0,050	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002											
			0,576	0,505	0,438	0,376	0,319	0,267	0,219	0,176	0,138	0,104	0,075	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,594	0,520	0,452	0,388	0,329	0,275	0,226	0,182	0,142	0,108	0,078	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,611	0,536	0,465	0,400	0,339	0,283	0,233	0,187	0,147	0,111	0,080	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,629	0,551	0,479	0,411	0,349	0,292	0,240	0,193	0,151	0,114	0,082	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,647	0,567	0,492	0,423	0,359	0,300	0,246	0,198	0,155	0,117	0,082	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,665	0,583	0,506	0,435	0,369	0,308	0,253	0,204	0,159	0,121	0,082	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,683	0,598	0,520	0,446	0,379	0,317	0,260	0,209	0,165	0,125	0,085	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,700	0,614	0,533	0,458	0,389	0,326	0,266	0,212	0,167	0,125	0,085	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										
			0,718	0,630	0,547	0,470	0,398	0,334	0,272	0,217	0,171	0,128	0,087	0,051	0,040	0,032	0,025	0,019	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002										

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' own calculations

Обсуждение

Сопоставление новых нормативов с применяемыми в практике ведения лесного хозяйства. Полученные с применением уравнения образующей стволов значения объёмов деловой древесины различной крупности, дров и отходов были сопоставлены с объёмами, приведенными в сортиментной таблице [16] для деревьев сосны (рис. 2). При объёме крупной деловой древесины от 2 м³ для разрядов высот 1б, 1а, 1, 2 и 3 рассчитанные по модели образующей значения превышают найденные по сортиментным таблицам на величину до 1 м³. При объёме средней деловой древесины (рис. 2б) до 0,3 м³ табличные и предсказанные значения выхода имеют наименьшие различия, которые в дальнейшем возрастают. Для разрядов высот 1а, 1б и 1 отмечается занижение рассчитанных значений выхода средней деловой древесины по сравнению с табличными. Выход мелкой деловой древесины (рис. 2в) характеризуется наличием максимальных несоответствий между значениями признака. Объёмы, рассчитанные по модели, для высших разрядов высот оказываются значительно меньше табличных после 0,1 м³. Выход дров и отходов (рис. 2г), рассчитанный с применением модели, в большинстве случаев хорошо соответствует табличным данным. Небольшие различия начинают проявляться для высших разрядов высот после 0,6 м³.

Для получения сведений о величине варьирования между значениями объёмов выхода деловой древесины, дров и отходов, установленных посредством применения уравнения образующей и сортиментных таблиц, был произведен расчёт метрик соответствия по разрядам высот (табл. 5). Для всех лесоматериалов рассчитанные с применением уравнения образующей древесного ствола и взятые из таблиц объёмы имеют существенные различия. Значения выхода крупной деловой древесины характеризуются высокой долей объяснённой дисперсии для всех разрядов высот. Величина *RMSE* располагается в диапазоне от 0,566 до 0,137 и снижается к меньшему разряду высот. Значения *MBE* для крупной деловой древесины указывают на завышение предсказанных значений по сравнению с табличными для всех разрядов высот кроме 5а. Величина различий для высших разрядов высот составляет до 29,6%.

Выход средней деловой древесины характеризуется значениями коэффициента детерминации, расположенными в пределе от 0,606 до 0,892. Значения *RMSE* не превышают 0,094. В целом предсказанные значения оказались ниже табличных на величину до 28,3 %. Рассчитанные значения выхода мелкой деловой древесины оказались ниже табличных на величину до 57,8%, при *RMSE* не превышающей 0,056. Полученные значения выхода дров и отходов разрядов высот 1б, 1а, 1, 2, 3 превышают данные таблиц на 16,1-22,9%. Для разрядов высот 4, 5 и 5а отмечено занижение предсказанных объёмов, значения которых близки к нулевой отметке и имеют не высокого хозяйственного значения.

Для деревьев сосны Костромской области применение оцененного по региональным данным уравнения образующей древесного ствола позволяет повысить точность учёта крупной деловой древесины 1б, 1а, 1, 2, 3 разрядов высот на величину до 30% по сравнению с действующими нормативами. Это будет способствовать увеличению поступлений средств в бюджеты разного уровня при использовании лесов для заготовки древесины. Обеспечиваемая точность и скорректированный подход к определению выхода деловой древесины, дров и отходов будут способствовать рационализации использования стволов и получению более ценных сортиментов.

Ограничения исследования. Модель образующей, используемая в работе, имеет несколько основных ограничений, среди которых можно выделить следующие: 1) она может применяться только в тех почвенно-климатических условиях, которые были охвачены фактическими данными, использовавшимися для оценки эмпирических коэффициентов уравнения образующей; 2) в переувлажнённых местообитаниях Костромской области, а также в подзоне южной тайги европейской части России за пределами региона к прогнозируемым объёмам стволов, категорий крупности деловой древесины, дров и отходов необходимо подходить с осторожностью; 3) на сбег, форму, полндревесность древесных стволов, и как следствие, на сортиментную струк-

туру, оказывает большое количество факторов (возраст, класс бонитета, тип леса, полнота и др.), которые непосредственно не учитываются в модели.

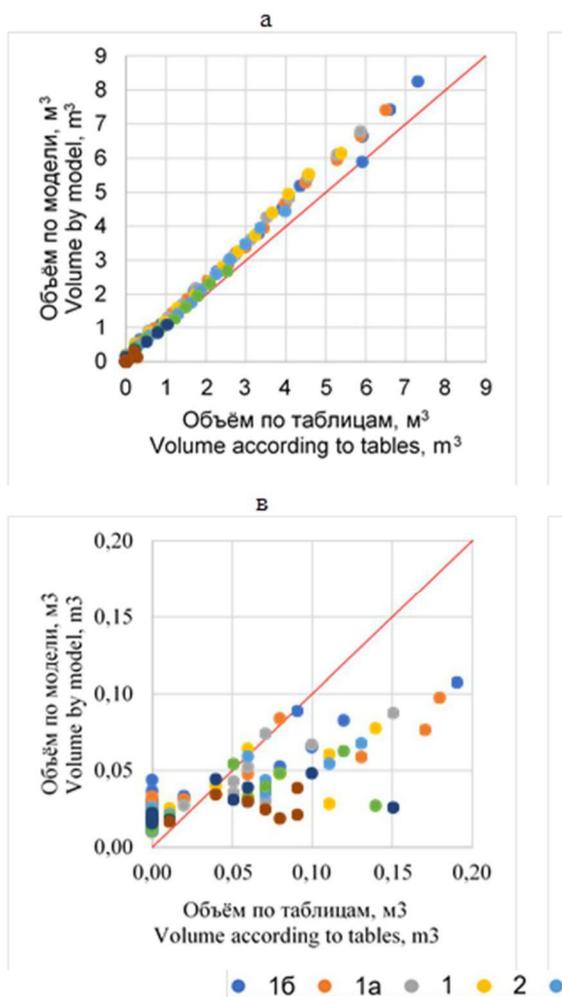


Рисунок 2. Сопоставление значений объемов выхода деловой древесины различных категорий крупности, дров и отходов из сортиментных таблиц и установленных с применением уравнения образующей стволов: а) крупная, б) средняя, в) мелкая, г) дрова и отходы

Figure 2. Comparison of the values of the output volumes of commodity wood of different size categories, firewood and waste from assortment tables and established using the equation of the stem taper: а) large wood commodity, б) medium wood commodity, в) small wood commodity, г) firewood and waste

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Природопользование

Таблица 5

Значения метрик соответствия рассчитанных и табличных значений выхода деловой древесины, дров и отходов

Table 5

Values of the metrics of compliance of calculated and tabulated values of timber yield of various commodity categories

Крупная деловая древесина Large wood commodity					
Разряд высот Height quality class	<i>RMSE</i>	<i>MBE</i>	<i>MAE</i>	<i>MAPE</i>	<i>R</i> ²
1б	0,566	-0,497	0,500	20,444	0,992
1а	0,550	-0,498	0,498	20,204	0,999
1	0,594	-0,545	0,545	29,591	0,998
2	0,554	-0,492	0,492	27,363	0,996
3	0,351	-0,310	0,310	20,550	0,996
4	0,153	-0,144	0,144	19,277	0,996
5	0,071	-0,067	0,067	15,152	0,994
5а	0,137	0,018	0,136	60,119	1,000
Средняя деловая древесина Medium wood commodity					
1б	0,086	0,044	0,071	18,610	0,803
1а	0,086	0,037	0,077	28,159	0,725
1	0,091	0,066	0,082	28,319	0,776
2	0,094	0,056	0,078	30,695	0,606
3	0,072	0,032	0,062	28,208	0,623
4	0,070	0,034	0,048	18,141	0,647
5	0,047	0,022	0,032	14,479	0,666
5а	0,037	0,010	0,025	13,173	0,892
Мелкая деловая древесина Small wood commodity					
1б	0,042	0,028	0,033	35,294	0,820
1а	0,056	0,039	0,044	40,255	0,633
1	0,030	0,019	0,022	28,693	0,694
2	0,043	0,029	0,034	51,052	0,376
3	0,038	0,028	0,032	50,338	0,664
4	0,052	0,035	0,039	51,907	0,106
5	0,056	0,034	0,038	49,745	0,024
5а	0,045	0,037	0,038	57,835	0,066
Дрова и отходы Firewood and waste					
1б	0,058	-0,017	0,041	17,201	0,994
1а	0,049	-0,018	0,033	16,100	0,996
1	0,051	-0,022	0,035	17,929	0,994
2	0,056	-0,024	0,037	20,117	0,996
3	0,034	-0,004	0,026	22,916	0,992
4	0,014	0,013	0,013	22,050	0,998
5	0,022	0,001	0,018	103,799	0,928
5а	0,014	0,012	0,012	43,115	0,930

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' own calculations

Направления дальнейших исследований.

Требуются дальнейшие исследования, направленные на оценку экономического эффекта от внедрения предложенной модели и нормативов в практику ведения лесного хозяйства Костромской области. В условиях цифровой трансформации лесного сектора экономики модель может быть включена в состав специализированных программ, предназначенных для таксации лесосечного фонда. Рассмотренная методика моделирования сортиментной структуры стволов деревьев сосны с применением уравнения образующей может быть воспроизведена для других пород и лесорастительных условий.

Заключение

Приведен обзор нормативов, применяющихся в Костромской области для определения вы-

хода деловой древесины различных категорий крупности, дров и отходов за период с 1908 года по настоящее время. Для древостоев сосны, произрастающих в Костромской области предложен алгоритм определения сортиментной структуры с применением уравнения образующей древесного ствола. Значения метрик качества указывают на преимущество предлагаемого способа сортиментации перед применением классических таблиц. Использование для сортиментации уравнения образующей древесного ствола позволит увеличить доходность ведения лесного хозяйства в Костромской области за счёт получения ранее неучитываемых средств от реализации до 30% крупной деловой древесины, относящейся к высшим разрядам высот. Применение предложенной методики будет способствовать упрощению процедуры сортиментации лесных ресурсов и сокращению расходов на её проведение.

Список литературы

1. Дубенок Н. Н., Лебедев, А. В., Чистяков С. А. Динамика основных показателей земель лесного фонда Костромской обл. и биосферного резервата «Кологривский лес». Лесохозяйственная информация. 2023; 3: 26-36. -DOI: <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.02>.
2. Истомина Э.Г. Корабельные леса Европейской России как ресурс регионального развития в XVIII-XIX вв. ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Литературоведение. Языкознание. Культурология». 2016. 10: 106-119.
3. Материалы для оценки земель Костромской губернии. Определение доходности земельных угодий. Выпуск 1-й. Запас и прирост лесных насаждений Костромской губернии. – Кострома: Тип. Т.П. Андрониковой, 1908; 33 с.
4. Крюденер А.А. Массовые таблицы и таблицы сбега для суходольной сосны в удельных (и других) лесах южной половины Европейской России с краткими объяснениями к ним и с приложением общих вспомогательных и переводных таблиц и подробных таблиц бревен сосны. - Изд. Гл. Упр. Уделов. 5, 8. - СПб.: Тип. Гл. Упр. Уделов, 1910. Вып. 3, ч. 2-3. 1910; 35 с.
5. Крюденер А.А. Массовые таблицы и таблицы сбега для сосны по мокрым почвам и по болоту в удельных (и других) лесах Европейской России. - Изд. Гл. Упр. Уделов. 8. - СПб.: Тип. Гл. Упр. Уделов, 1910. Вып. 3, ч. 2. 1910. 35 с.
6. Крюдинер А.А. Массовые таблицы и таблицы сбега для сосны в удельных (и других) лесах северной половины Европейской России с краткими объяснениями к ним и с приложением общих вспомогательных и переводных таблиц и подробных таблиц бревен сосны. - Изд. Гл. Упр. Уделов. 9. СПб.: Тип. Гл. Упр. Уделов, 1911. Вып. 3, ч. 2. 1911; 280 с.
7. Таблицы сортиментов древесины для казенных лесных дач Костромской губернии. Кострома, 1914.
8. Лесное хозяйство: журнал лесной политики, экономики, научного лесоводства и техники. Москва: Новая деревня, 1928. 6. – 113 с.

Природопользование

9. Таблицы сортиментов древесины для лесных дач Костромской губернии Сост. в 1925 г. Утв. Расшир. техн. совещ. при Костром. гублесотд. 9 июля 1925 г. Кострома: 1925; 24 с.
10. Орлов М.М. Лесная вспомогательная книжка, 1925.
11. Таблицы исчисления объема бревен по таблицам Крюденера-Турского с распределением на сортименты, установленные по Костромской губернии. – Кострома: Костром. гублесотд., 1929; 12 с.
12. Белов А. М. Костромская губерния и ее руководители (1778-1929 годы) / А. М. Белов // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2011; Т. 17. № 5-6: 185-189.
13. Краткий справочник лесоустроителя / Сост. Ю. Н. Полянский; ВНИТОЛес. Горьк. обл. отд-ние "Обл-НИТОЛес". - Горький: 11-я тип. Росполиграфиздата, 1950; 100 с.
14. Сортиментные таблицы: для сосны, ели, дуба, березы и осины/Соавт.: М. Грошевой и др. – М. – Л.: Сельколхозгиз, 1931; 474с.
15. Сортиментные и товарные таблицы. Изд. 7-е, переработанное и дополненное. Справочник. – М., Лесная промышленность. 1981; 534 с.
16. Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов Европейской части РСФСР. - Москва, 1987.
17. Кузьмичев В. В., Неповинных А.Г. Обобщенная зависимость высот от диаметров в сосновых древостоях. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2008; 41: 286-292.
18. Salazar-Ruiz A.G., Murillo-Cruz R., Salas-Rodríguez A., Fonseca-González W. Commercial volume table of *Cedrela odorata* L. in an agroforestry system with coffee in Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 2021; 18(42): 74-78. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i42.5545>.
19. Lima R. et al. Accurate Estimation of Commercial Volume in Tropical Forests. *Forest Science*. 2020; XX (XX): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxaa032>.
20. Hlavica R., Adamec Z. Development of Douglas fir merchantable stem volume model in the conditions of the Czech Republic. *J. For. Sci.* 2023; 69: 515-524. DOI: <https://doi.org/10.17221/92/2023-JFS>.
21. Sharma M. Total and Merchantable Volume Equations for 25 Commercial Tree Species Grown in Canada and the Northeastern United States. *Forests*. 2021; 12: 1270. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12091270>.
22. Усов С. В., Шевелев С. Л., Кулакова Н. Н., Зайцева А. С. Объемы стволов осины в зоне островных лесостепей Средней Сибири. Хвойные бореальной зоны. 2024; Т. 42; 4: 55-61.- DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-4-55-61>.
23. Шевелев С. Л., Кулакова Н.Н., Ефремова М.Н. Таксация объемов стволов и запасов древостоев ельников Енисейского края. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2023; 63: 108-111. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53713021>.
24. Калачев В. А., Вайс А.А. Сбежистость нижней части стволов лиственницы в условиях заповедника «Путоранский». Хвойные бореальной зоны. 2024; Т. 42; 3:27-31-. DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-3-27-31>.
25. Демаков Ю. П. Ствол дерева как деформированный конус. Эко-потенциал. 2014; 2(6): 72-81.
26. Шевелев С. Л., Ефремова М.Н. Особенности объемообразующих показателей в древостоях Красноярско-Ачинско-Канской лесостепи. Хвойные бореальной зоны. 2018; Т. 36; 1: 97-101.
27. Забавская Л.Н., Вайс А.А. Параметры образующей функции "Harris" и форма нижней части деревьев сосны. Хвойные бореальной зоны. 2021; Т. 39; 2: 95-101. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46216526>.
28. Дубенок Н. Н., Лебедев А.В., Гостев В.В. Модель образующей древесного ствола сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в Костромской области. Лесотехнический журнал. 2023; Т. 13; 4.1(52): 5-22. -DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/3>.

29. Дубенок Н. Н., Лебедев А.В., Гостев В.В. Образующая, форма и объем стволов деревьев ели Костромской области. Хвойные бореальной зоны. 2024; Т. 42; 4: 23-32. -DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-4-23-32>.

30. Sharma M. Total and merchantable volume equations for 25 commercial tree species grown in Canada and the northeastern united states. Forests. 2021; 12: 1270. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12091270>.

31. Sharma M. Increasing volumetric prediction accuracy – an essential prerequisite for end-product forecasting in Red Pine. Forests. 2020; 11 (10):1050. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11101050>.

32. Wang S, Wang Z., Feng Z., Yu Z., Li J. Construction of compatible volume model for Populus in Beijing, China. Forests. 2024; 15: 1059. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15061059>.

33. Xu Y.; Jiang L., Shahzad M.K. Newly Built Model of an Additive Stem Taper System with Total Disaggregation Model Structure for Dahurian Larch in Northeast China. Forests. 2021; 12: 1302. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12101302>.

34. Гудков А. Ю., Часимов П. Ш., Кабутов Ш. Н. Моделирование формы ствола. Перспективные ресурсосберегающие технологии развития лесопромышленного комплекса: Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Воронеж, 29 сентября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023: 247-250. -DOI: https://doi.org/10.58168/R-STD TIC2023_247-250.

35. Wilms F., Berendt F., Bronisz K. et al. Applying taper function models for black locust plantations in Greek post-mining areas. Sci Rep. 2024; 14:13557. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63048-1>.

36. McTague J. P., Weiskittel A. Evolution, history, and use of stem taper equations: A review of their development, application, and implementation. Can. J. For. Res. 2021; 51:210-235. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0326>.

37. Bronisz K., Zasada M. (2020). Taper models for black locust in west Poland. Silva Fennica. 2020; V. 54; 5: 10351. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10351>

38. Garcia O. Dynamic modelling of tree form. Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences. 2015; 7: 39-15.

39. Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gostev V.V. Regressionnyye modeli smeshannyh effektov zavisimosti vyso-ty ot diametra stvola v osnovnyh drevostoyah evropejskoj chasti Rossii. [Mixed-effect regression models of height versus trunk diameter dependence in pine stands in european part of Russia]. Лесной вестник = Forestry Bulletin. 2023; Т. 27.; 5: 37–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-5-37-47>.

40. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614620 Российская Федерация. «Моделирование образующей древесного ствола по данным обмеров модельных деревьев»: № 2024613416 : заявл. 20.02.2024; опубл. 28.02.2024 / А. В. Лебедев, В. В. Гостев, Н. Н. Дубенок; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».

41. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614587 Российская Федерация. «Обработка данных обмеров стволов модельных деревьев»: № 2024613417 : заявл. 20.02.2024; опубл. 27.02.2024 / А. В. Лебедев, В. В. Гостев, Н. Н. Дубенок; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».

References

1. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Chistyakov S. A. Dinamika osnovnyh pokazatelej zemel' lesnogo fonda Kostromskoj obl. i biosferного rezervata «Kologrivskij les» [Dynamics of the main indicators of forest lands in the Kostroma region and the Kologrivsky Forest biosphere reserve]. Lesochozjajstvennaya informacija = Forestry Information. 2023; 3: 26-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.3.02>.

2. Istomina E. G. Korabel'nye lesa Evropejskoj Rossii kak resurs regional'nogo razvitiya v XVIII–XIX vv. [Ship-building forests of European Russia as a resource for regional development in the 18th–19th centuries]. *Vestnik RGGU. Seriya «Literaturovedenie. Yazykoznanie. Kul'turologiya» = RGGU Bulletin. Series “Literary Studies. Linguistics. Cultural Studies”*. 2016; 10: 106-119. (in Russ.)
3. Materialy dlya ocenki zemel' Kostromskoj gubernii. Opredelenie dohodnosti zemel'nyh ugodij. Vypusk 1-j. Zapas i prirost lesnyh nasazhdenij Kostromskoj gubernii [Materials for land assessment in the Kostroma province. Determination of land profitability. Issue 1. Stock and increment of forest plantations in the Kostroma province]. Kostroma: Tip. T.P. Andronikovej, 1908; 33 p. (in Russ.)
4. Kryudener A. A. Massovye tablicy i tablicy sbega dlja suhodol'noj sosny v udel'nyh (i drugih) lesah yuzhnoj poloviny Evropejskoj Rossii s kratkimi ob'yasneniyami k nim i s prilozheniem obshchih vspomogatel'nyh i perevodnyh tablic i podrobnyh tablic brevion sosny [Volume and taper tables for upland pine in appanage (and other) forests of the southern half of European Russia]. St. Petersburg: Tip. Gl. Upr. Udelov, 1910. Iss. 3, Pt. 2-3; 35 p. (in Russ.)
5. Kryudener A. A. Massovye tablicy i tablicy sbega dlja sosny po mokrym pochvam i po bolotu v udel'nyh (i drugih) lesah Evropejskoj Rossii [Volume and taper tables for pine on wet soils and marshes in appanage (and other) forests of European Russia]. St. Petersburg: Tip. Gl. Upr. Udelov, 1910. Iss. 3, Pt. 2; 35 p. (in Russ.)
6. Kryudener A. A. Massovye tablicy i tablicy sbega dlja sosny v udel'nyh (i drugih) lesah severnoj poloviny Evropejskoj Rossii s kratkimi ob'yasneniyami k nim i s prilozheniem obshchih vspomogatel'nyh i perevodnyh tablic i podrobnyh tablic brevion sosny [Volume and taper tables for pine in appanage (and other) forests of the northern half of European Russia]. St. Petersburg: Tip. Gl. Upr. Udelov, 1911. Iss. 3, Pt. 2; 280 p. (in Russ.)
7. Tablicy sortimentov drevesiny dlja kazennyh lesnyh dach Kostromskoj gubernii [Timber assortment tables for state forest estates in the Kostroma province]. Kostroma, 1914. (in Russ.)
8. Lesnoe hozyajstvo: zhurnal lesnoj politiki, ekonomiki, nauchnogo lesovodstva i tehniki [Forestry: Journal of Forest Policy, Economics, Silviculture, and Technology]. Moscow: Novaya derevnya, 1928; 6–113 p. (in Russ.)
9. Tablicy sortimentov drevesiny dlja lesnyh dach Kostromskoj gubernii [Timber assortment tables for forest estates in the Kostroma province]. Kostroma: Kostrom. gublesotdel, 1925; 24 p. (in Russ.)
10. Orlov M. M. Lesnaya vspomogatel'naya knizhka [Forestry reference book]. 1925. (in Russ.)
11. Tablicy ischisleniya ob'ema brevion po tablicam Kryudenera-Turskogo s raspredeleniem na sortimenty, ustanovlennye po Kostromskoj gubernii [Tables for calculating log volume using Kryudener-Tursky tables with assortment classification for the Kostroma province]. Kostroma: Kostrom. gublesotdel, 1929; 12 p. (in Russ.)
12. Belov A. M. Kostromskaya guberniya i ee rukovoditeli (1778–1929 gody) [The Kostroma province and its leaders (1778–1929)]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova = Bulletin of Nekrasov Kostroma State University*. 2011; 17(5-6): 185-189. (in Russ.)
13. Kratkij spravochnik lesoustroitel'nyh [Brief handbook for forest inventory]. Comp. Yu. N. Polyansky. Gorky: 11-ya tip. Rospoligrafizdata, 1950; 100 p. (in Russ.)
14. Sortimentnye tablicy: Dlja sosny, eli, duba, berezy i osiny [Assortment tables for pine, spruce, oak, birch, and aspen]. Moscow-Leningrad: Sel'kolkhozgiz, 1931; 474 p. (in Russ.)
15. Sortimentnye i tovarnye tablicy [Assortment and commodity tables]. 7th ed. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1981; 534 p. (in Russ.)
16. Sortimentnye i tovarnye tablicy dlja lesov central'nyh i yuzhnyh rajonov Evropejskoj chasti RSFSR [Assortment and commodity tables for forests in the central and southern regions of the European part of the RSFSR]. Moscow, 1987. (in Russ.)
17. Kuzmichev V. V., Nepovinnyh A. G. Obobshchennaya zavisimost' vysot ot diametrov v sosnovykh drevostoyah [Generalized height-diameter relationship in pine stands]. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2008; 41: 286-292. (in Russ.)

18. Salazar-Ruiz A.G., Murillo-Cruz R., Salas-Rodríguez A., Fonseca-González W. Commercial volume table of *Cedrela odorata* L. in an agroforestry system with coffee in Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana* Kurú. 2021; 18(42): 74-78. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i42.5545>.
19. Lima R. et al. Accurate Estimation of Commercial Volume in Tropical Forests. *Forest Science*. 2020; XX (XX): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxaa032>.
20. Hlavica R., Adamec Z. Development of Douglas fir merchantable stem volume model in the conditions of the Czech Republic. *J. For. Sci.* 2023; 69: 515-524. DOI: <https://doi.org/10.17221/92/2023-JFS>.
21. Sharma M. Total and Merchantable Volume Equations for 25 Commercial Tree Species Grown in Canada and the Northeastern United States. *Forests*. 2021; 12: 1270. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12091270>.
22. Usov S. V., Shevelev S. L., Kulakova N. N., Zajceva A. S. Ob'emy stvolov osiny v zone ostrovnnyh lesostepej Srednej Sibiri [Volumes of aspen trunks in the insular forest-steppe zone of Central Siberia]. *Hvojnyye boreal'noj zony = Conifers of the Boreal Zone*. 2024; 42(4): 55-61. DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-4-55-61>.
23. Shevelev S. L., Kulakova N. N., Efremova M. N. Taksaciya ob'emov stvolov i zapasov drevostoev el'nikov Enisejskogo kryazha [Inventory of trunk volumes and stocks in spruce stands of the Yenisei Ridge]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa = Current Issues of the Forestry Sector*. 2023; 63: 108-111. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53713021>. (in Russ.)
24. Kalachev V. A., Vajs A. A. Sbezhistost' nizhnej chasti stvolov listvennicy v usloviyah zapovednika «Putoranskij» [Taper of the lower part of larch trunks in the Putoransky Nature Reserve]. *Hvojnyye boreal'noj zony = Conifers of the Boreal Zone*. 2024; 42(3): 27-31. DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-3-27-31>. (in Russ.)
25. Demakov Yu. P. Stvol dereva kak deformirovannyj konus [Tree trunk as a deformed cone]. *Eko-potencial*. 2014; 2(6): 72-81. (in Russ.)
26. Shevelev S. L., Efremova M. N. Osobennosti ob'emoobrazuyushchih pokazatelej v drevostoyah Krasnoyarsko-Achinsko-Kanskoj lesostepi [Features of volume-forming indicators in stands of the Krasnoyarsk-Achinsk-Kansk forest-steppe]. *Hvojnyye boreal'noj zony = Conifers of the Boreal Zone*. 2018; 36(1): 97-101. (in Russ.)
27. Zabavskaya L. N., Vajs A. A. Parametry obrazuyushchej funkicii "Harris" i forma nizhnej chasti derev'ev sosny [Parameters of the "Harris" taper function and the shape of the lower part of pine trees]. *Hvojnyye boreal'noj zony = Conifers of the Boreal Zone*. 2021; 39(2): 95-101. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46216526>. (in Russ.)
28. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Gostev V. V. Model' obrazuyushchej drevesnogo stvola sosny obyknovennoj (*Pinus sylvestris* L.), proizrastayushchej v Kostromskoj oblasti [Stem taper model for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Kostroma region]. *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal*. 2023; 13(4.1): 5-22. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/3>. (in Russ.)
29. Dubenok N. N., Lebedev A. V., Gostev V. V. Obrazuyushchaya, forma i ob'em stvolov derev'ev eli Kostromskoj oblasti [Stem taper, shape, and volume of spruce trunks in the Kostroma region]. *Hvojnyye boreal'noj zony = Conifers of the Boreal Zone*. 2024; 42(4): 23-32. DOI: <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-4-23-32>. (in Russ.)
30. Sharma M. Total and merchantable volume equations for 25 commercial tree species grown in Canada and the northeastern united states. *Forests*. 2021; 12: 1270. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12091270>.
31. Sharma M. Increasing volumetric prediction accuracy – an essential prerequisite for end-product forecasting in Red Pine. *Forests*. 2020; 11 (10):1050. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11101050>.
32. Wang S, Wang Z., Feng Z., Yu Z., Li J. Construction of compatible volume model for *Populus* in Beijing, China. *Forests*. 2024; 15: 1059. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15061059>.
33. Xu Y.; Jiang L., Shahzad M.K. Newly Built Model of an Additive Stem Taper System with Total Disaggregation Model Structure for Dahurian Larch in Northeast China. *Forests*. 2021; 12: 1302. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12101302>.
34. Gudkov A. Yu., Chasimov P. Sh., Kabutov Sh. N. Modelirovanie formy stvola [Modeling trunk shape]. *Perspektivnyye resursoberegayushchie tekhnologii razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa: Materialy Mezhdunarodnoj*

nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh i studentov, Voronezh, 29 sentyabrya 2023 goda [Advanced resource-saving technologies for the development of the timber industry: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, Voronezh, September 29, 2023]. Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2023: 247-250. DOI: https://doi.org/10.58168/R-STDTIC2023_247-250. (in Russ.)

35. Wilms F., Berendt F., Bronisz K. et al. Applying taper function models for black locust plantations in Greek post-mining areas. *Sci Rep.* 2024; 14:13557. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63048-1>.

36. McTague J. P., Weiskittel A. Evolution, history, and use of stem taper equations: A review of their development, application, and implementation. *Can. J. For. Res.* 2021; 51:210-235. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0326>.

37. Bronisz K., Zasada M. Taper models for black locust in west Poland. *Silva Fennica.* 2020; 54(5): 10351. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10351>.

38. Garcia O. Dynamic modelling of tree form. *Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences.* 2015; 7(1): 39-15.

39. Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gostev V.V. Regressionnyye modeli smeshannyh effektov zavisimosti vysoty ot diametra stvola v sosnovykh drevostoyah evropejskoj chasti Rossii. [Mixed-effect regression models of height versus trunk diameter dependence in pine stands in european part of Russia]. *Lesnoj vestnik = Forestry Bulletin.* 2023; 27(5): 37–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-5-37-47>.

40. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2024614620 Rossijskaya Federaciya. «Modelirovanie obrazuyushchej drevesnogo stvola po dannym obmerov model'nyh derev'ev»: № 2024613416 : zayavl. 20.02.2024: opubl. 28.02.2024 / A. V. Lebedev, V. V. Gostev, N. N. Dubenok ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - MSHA imeni K.A. Timiryazeva». [Certificate of State Registration of Software № 2024614620, Russian Federation. "Modeling stem taper based on measurements of sample trees": № 2024613416: appl. 20.02.2024: publ. 28.02.2024 / A. V. Lebedev, V. V. Gostev, N. N. Dubenok; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy".](in Russ.)

41. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2024614587 Rossijskaya Federaciya. «Obrabotka dannyh obmerov stvolov model'nyh derev'ev»: № 2024613417 : za-yavl. 20.02.2024 : opubl. 27.02.2024 / A. V. Lebedev, V. V. Gostev, N. N. Dubenok; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - MSHA imeni K.A. Timiryazeva». [Certificate of State Registration of Software № 2024614587, Russian Federation. "Processing of stem measurement data from sample trees": № 2024613417: appl. 20.02.2024: publ. 27.02.2024 / A. V. Lebedev, V. V. Gostev, N. N. Dubenok; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy"]. (in Russ.)

Сведения об авторах

Дубенок Николай Николаевич – академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, Российская Федерация, 127434, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>, e-mail: ndubenok@rgau-msha.ru.

✉ *Лебедев Александр Вячеславович* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, Российская Федерация, 127434, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8939-942X>, e-mail: alebedev@rgau-msha.ru.

Гостев Владимир Викторович – ассистент кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, Российская Федерация, 127434, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-3422>, e-mail: v.gostev@rgau-msha.ru.

Природопользование

Гостева Дарья Юрьевна – ассистент кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, Российская Федерация, 127434, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1853-4762>, e-mail: d.gosteva@rgau-msha.ru.

Information about the authors

Nikolay N. Dubenok – DSc (Agriculture), professor, academician of RAS, head of the department of Agricultural Reclamation at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str. 49, Moscow, Russian Federation, 127434, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9059-9023>, e-mail: ndubenok@rgau-msha.ru.

Aleksandr V. Lebedev – DSc (Agriculture), associate professor, associate professor of the department of Land Organization and Forestry at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str. 49, Moscow, Russian Federation, 127434, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8939-942X>, e-mail: alebedev@rgau-msha.ru.

✉ *Vladimir V. Gostev* – Assistant of the department of Land Management and Forestry at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str. 49, Moscow, Russian Federation, 127434, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-3422>, e-mail: v.gostev@rgau-msha.ru.

Daria Yu. Gosteva – Assistant of the department of Land Management and Forestry at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya str. 49, Moscow, Russian Federation, 127434, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1853-4762>, e-mail: d.gosteva@rgau-msha.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author