

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ НОРМАТИВОВ ОЦЕНКИ СОРТИМЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR*) ДЛЯ ЛЕСОСТЕПИ ЦЕНТРАЛЬНО- ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОФАКТОРНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.Н. Вариводина[✉], А.Н. Орнатский, А.Л. Мусиевский, К.А. Гудкова

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии»,
Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 105

varivodinna@rambler.ru

Представлен анализ нормативных документов по таксации лесной продукции. Показано важное значение нормативов таксации сортиментной и товарной структуры древостоев при определении выхода товарной древесины как из отдельных деревьев, так и из древостоев в целом. Проведена проверка соответствия этих нормативов требованиям действующих стандартов на круглые лесоматериалы хвойных и лиственных пород. Разработана методика, основанная на изучении строения лесных насаждений лесостепной зоны России с использованием материалов, полученных на объектах полевых наблюдений и камеральных расчетов сортиментной структуры древостоев. Разработана универсальная система многофакторных математических моделей для прогнозирования сортиментной структуры дуба диаметрами стволов от 8 до 160 см с шагом по толщине 2 см, с обеспечением свойства аддитивности сортиментов. Показано, что разработанная система является эффективным и биологически обоснованным инструментом, в частности, комбинация степенной функции Шумахера — Холла для базисных объемов и функции Херля для оценки доли целевых сортиментов решает проблему экстраполяции данных на перестойные и крупномерные древостои. Определено, что полученная расчетная матрица может служить нормативной базой для паспортизации и материальной оценки дубрав лесостепной зоны Центрально-Черноземного региона России.

Ключевые слова: лесной комплекс, таксация, сортимент, инвентаризация, товаризация, ствол

Ссылка для цитирования: Вариводина И.Н., Орнатский А.Н., Мусиевский А.Л., Гудкова К.А. Совершенствование системы нормативов оценки сортиментной структуры древостоев дуба черешчатого (*Quercus robur*) для лесостепи Центрально-Черноземного региона России с использованием многофакторного математического моделирования // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 5. С. 32–46. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-5-32-46

Повышение точности таксации лесных экосистем при заготовке древесины и оценке причиненного ущерба при воздействии на экосистемы природных и антропогенных факторов является важной и актуальной задачей, особенно в связи с цифровизацией лесного комплекса. Внедрение Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК), направленной на использование цифровых методов учета лесной продукции в лесу и заготовленной, транспортируемой и перерабатываемой древесины, повышает требования к точности ее учета. Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) — это система стратегических мероприятий по контролю состояния лесов, их количественных и качествен-

ных характеристик для обеспечения рационального лесопользования. Точность таксации при государственной инвентаризации лесов — это ключевой показатель качества полученных данных для оценки лесных ресурсов.

Выполнение научно-исследовательских работ (НИР) направлено на реализацию задач, определенных стратегическими документами Российской Федерации: Национальный проект «Экологическое благополучие» [1]; Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [2]; Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденные распоряжением Правительства Российской Федерации от 26.09.2013 № 1724-р [3];

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации 11.02.2021 № 312-р [4]; Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2023 № 603 «Об утверждении приоритетных направлений проектов технологического суверенитета и проектов структурной адаптации экономики Российской Федерации и Положения об условиях отнесения проектов к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации, о представлении сведений о проектах технологического суверенитета и проектах структурной адаптации экономики Российской Федерации и ведении реестра указанных проектов, а также о требованиях к организациям, уполномоченным представлять заключения о соответствии проектов требованиям к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации» [5].

В настоящее время в связи с изменениями в лесном законодательстве (приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 17.10.2022 № 688 «Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек и о внесении изменений в Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации, утвержденные приказом Минприроды России от 1 декабря 2020 г. № 993», зарегистрированный 30.11.2022 № 71217) [6] необходима актуализация существующих нормативов и разработка новых нормативов по следующим показателям: увеличение диапазонов максимальных таксационных диаметров в сортиментных таблицах, увеличение диапазонов средних диаметров и высот в товарных таблицах для лесостепного района центральной части РФ, применения нормативов таксации сортиментной и товарной структуры, в которые входят Воронежская, Липецкая, Тамбовская, Белгородская и Курская области Центрально-Европейской части Российской Федерации.

Сортиментные таблицы востребованы арендаторами лесных участков, товарные таблицы предназначены для прогнозных расчетов и проверки материалов перечислительной таксации. Точность таких нормативов во многом зависит от научного подхода к их построению, использования различных данных, в том числе по пробным площадям различного назначения, материалов государственной инвентаризации лесов.

Научная значимость исследований заключается в использовании наряду с классическими

новых подходов к товаризации древостоев с использованием многофакторных моделей, данных государственной инвентаризации лесов для моделирования закономерных связей товарности, сортности сортиментов, в разработке новых форматов представления нормативов товарности в виде многофакторных товарных таблиц, таблиц товарности выбираемой части древостоя при выборочной рубке [7].

Методика исследований базируется на таких классических методах, как метод пробных площадей (ОСТ «Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки»), метод статистических учетных площадок для установления фауности древостоев на вырубках, метод круговых реласкопических площадок для получения массовых материалов о товарности лесных массивов [8–10].

Цель работы

Цель работы — совершенствование системы нормативов оценки сортиментной структуры древостоев дуба черешчатого (*Quercus robur*) для лесостепи Центрально-Черноземного региона России с использованием универсальной системы многофакторных математических моделей, обеспечивающих свойства аддитивности сортиментов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили насаждения дубовых древостоев:

- ООО «Бутурлиновский лесхоз» (Воронежская обл.);
- ООО «Грибановский лесхоз» (Воронежская обл.);
- Воронежская нагорная дубрава;
- Горшеченское лесничество (Курская обл.);
- ТОГАУ «Серповский лесхоз» (Гавриловский р-н, Тамбовская обл.);
- земли лесного фонда Добровского и Донского лесничеств (Липецкая обл.).

В качестве исходных данных для выполнения НИР использовали результаты исследований диапазона диаметров толстомерных сортиментов, востребованных в лесохозяйственной практике Центрально-Черноземного экономического района (для сортиментных разрядных таблиц, таблиц объемов стволов) для древостоев дуба черешчатого; данные по региональным особенностям формирования насаждений, их структуре и товарности; ранее разработанные нормативы таксации лесной продукции (сортиментные таблицы) для лесов центральных и южных районов Европейской части России [11].

Методика определения региональных особенностей формирования насаждений, их строения и товарности [12] базировалась на изучении и описании приемов, методов и технологий формирования дубрав выборочными рубками ухода [13], включая осветления, прочистки, прореживания и проходные рубки с указанием интенсивности выборки по возрастным периодам. Кроме того, исходили из выявления особенностей проведения различных видов рубок ухода по возрастным периодам их формирования [14]. Методами таксации леса исследовали закономерности строения дубовых древостоев при отводе лесных участков в рубку в ходе лесотаксационных работ [11]. Фаутиность древостоев дубрав различных экотипов определяли при отводе лесных участков в рубку в ходе лесотаксационных работ с учетом их возраста, полноты и состава, а также с последующей оценкой их сортиментной и товарной структуры [15, 16].

Согласно выбранной методике проводили дифференциацию территории района исследований на идентичные по зонально-типологическому и породному составу части, сформированные под влиянием геологических, природно-климатических факторов и рельефа. На основе такой дифференциации определяли участки для применения нормативов оценки товарной структуры насаждений [17, 18].

Лесорастительные условия, особенности рельефа, почвенного покрова и климата рассматривали в качестве ключевых факторов, влияющих на рост древостоев и производительность насаждений [18, 19].

Результаты и обсуждение

При разработке региональных многофакторных моделей сортиментных и товарных таблиц учитывается многообразие всех факторов, определяющих товарность дубовых древостоев.

Анализ нормативных документов по таксации лесной продукции показал важное значение нормативов таксации сортиментной и товарной структуры древостоев при определении выхода товарной древесины как из отдельных деревьев, так и из древостоев в целом. Проведена проверка соответствия этих нормативов требованиям действующих стандартов на круглые лесоматериалы хвойных и лиственных пород.

Таксация лесной продукции и лесосек в РФ регулируется такими нормативными документами, как Лесной кодекс [6], приказами Минприроды России: приказ Минприроды России от 17.10.2022 № 688 «Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек...» определяет

основной действующий порядок, закрепляющий правила определения объемов и характеристик [20]; приказ Минприроды России от 01.12.2020 № 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины...» — регулирует общие требования к лесосечным работам и технические параметры [21].

В частности, статья 23.3 Лесного кодекса регулирует порядок отвода и таксации лесосек для заготовки древесины, предусматривая обязательное определение границ лесосек, их закрепление на местности и оценку характеристик древесины (таксацию) перед рубкой при возможности упрощенного порядка для граждан при заготовке древесины для собственных нужд [6]. Отметим ключевые положения данной статьи:

- обязательность процедур: проведение отвода и таксации перед началом лесосечных работ (рубок);
- включение определения координат, закрепления границ на местности и отметку деревьев (при выборочных рубках) перед отводом лесосек;
- определение количественных (объема) и качественных характеристик насаждений перед таксацией лесосек.

Статья 23.4 Лесного кодекса РФ [6] регламентирует составление таксационного описания лесосеки на основе данных отвода и таксации в электронном виде, содержит характеристики лесных насаждений, данные об объеме древесины и служит основой для лесной декларации.

Статья 23.4 Лесного кодекса включает в себя следующие основные положения для составления таксационного описания:

- проведение отвода и таксации лесосек;
- детальные характеристики лесных насаждений, подлежащих рубке, данные о площади насаждения, оценку объема древесины.

Таксационное описание оформляется в электронном виде, а включенные в него сведения вводятся в лесную декларацию и проверяются региональными лесными ведомствами.

Эти нормы обеспечивают учет и контроль за заготовкой древесины, закрепляют правила документального оформления участков, отведенных под рубку [6].

Оценку нормативов для таксации лесной продукции (сортиментных и товарных таблиц) Центрально-Черноземной части РФ на соответствие действующим стандартам на круглые лесоматериалы проводили с использованием действующих с 1 июня 2026 года ГОСТ 9462–2025 «Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия» [22] (взамен устаревшего ГОСТ 9462–2016).

Межгосударственный стандарт [22] учитывает базовые нормативные положения европейских стандартов DIN EN 1316-1–2013 «Лесоматериалы круглые твердых пород. Классификация по качеству. Часть 1. Дуб и береза» (англ. Hardwood round timber — Qualitative classification — Part 1: Oak and beech) и DIN EN 1316-2 «Лесоматериалы круглые твердых пород. Классификация по качеству. Часть 2. Тополь» (англ. Hardwood round timber — Qualitative classification — Part 2: Poplar).

В ГОСТ 9462–2025 установлены технические условия на круглые лесоматериалы лиственных пород, приведена четырехсортная классификация круглых лесоматериалов в зависимости от размеров, количества и наличия основных сортообразующих пороков (согласно ГОСТ 2140–81 «Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения») [23], установлена классификация по назначению круглых лесоматериалов лиственных (твердолиственных и мягколиственных) древесных пород. Стандарт дополнен разделами «Требования безопасности», «Правила приемки», «Методы контроля», «Транспортирование и хранение». В Приложении этого ГОСТ приведена сортность круглых лесоматериалов лиственных пород в зависимости от их назначения (за исключением тропических древесных пород).

Все круглые лесоматериалы (за исключением хлыстов) в соответствии с ГОСТ 9462–2025 подразделяются следующим образом:

- в зависимости от древесной породы;
- от установленного назначения, т. е. для распиловки и строгания, лущения, производства спичек, производства целлюлозы и древесной массы, строительные и подтоварник, для прочего использования в круглом виде, для дров;
- от крупности (на группы): мелкие — от 6 до 13 см включительно с градацией 1 см, средние — от 14 до 24 см включительно с градацией 2 см, крупные — 26 см и более с градацией 2 см;
- от качества древесины (на сорта): 1-й сорт, 2-й, 3-й, 4-й сорт.

В круглых сортиментах 1-го сорта не допускается наличие сучков табачных, все разновидности трещин (кроме боковых и торцовых от усушки), пасынка, ложного ядра, внутренней заболони, синевы, цветных заболонных пятен, торцового и бокового побурения, заболонной, наружной трухлявой и ядровой гнили, дупла, неглубокой и глубокой червоточины, повреждения птицами, инородных включе-

ний, обугленности и козырька (порок обработки). С ограничениями допускаются следующие разновидности пороков древесины: открытые сучки, боковые и торцовые трещины от усушки, кривизна простая и сложная, сухобокость, окрытая прорость и рак, скоп пропила, заруб, запил, отщеп, скоп и вырыв. Без ограничений в сортиментах 1-го сорта допускается поверхностная червоточина.

Нормы требований к наличию, размерам и количеству снижаются от 1-го к 4-му сорту. И в круглых сортиментах 4-го сорта допускаются сучки все разновидности открытых, сучки табачные, все разновидности трещин (кроме боковых и торцовых от усушки), пасынки, сухобокость, рак, ложное ядро, внутренняя заболонь, синева, цветные заболонные пятна, торцовое и боковое побурение, поверхностная и неглубокая червоточина, повреждение птицами, инородные включения, обугленность, скоп пропила, заруб, запил, отщеп, скоп, вырыв и козырек (пороки обработки). Лишь с небольшими ограничениями допускаются следующие разновидности пороков древесины: боковые и торцовые трещины от усушки, кривизна простая и сложная, сухобокость, окрытая прорость и рак, заболонная и ядровая гниль, дупло, глубокая червоточина.

В зависимости от назначения круглых лесоматериалов лиственных пород в приложении указанного ГОСТ приведена сортность круглых сортиментов:

- сортименты, предназначенные для распиловки и строгания должны соответствовать требованиям 1-го, 2-го и 3-го сорта;
- для лущения — 1-го и 2-го сорта;
- для производства спичек — 1-го, 2-го и 3-го сорта;
- для производства целлюлозы и древесной массы — 1-го, 2-го и 3-го сорта;
- строительные бревна и подтоварник — 2-й, 3-й;
- для прочего использования в круглом виде — 3-й, 4-й;
- круглые сортименты, предназначенные для использования в качестве дров, должны соответствовать требованиям 4-го сорта.

Таким образом, полученные материалы и разработанные (уточненные) нормативы таксации сортиментной и товарной структуры на соответствие их требованиям действующих ГОСТ на круглые лесоматериалы лиственных пород послужат основой для повышения точности оценки товарности насаждений и определения оптимального размера лесопользования.

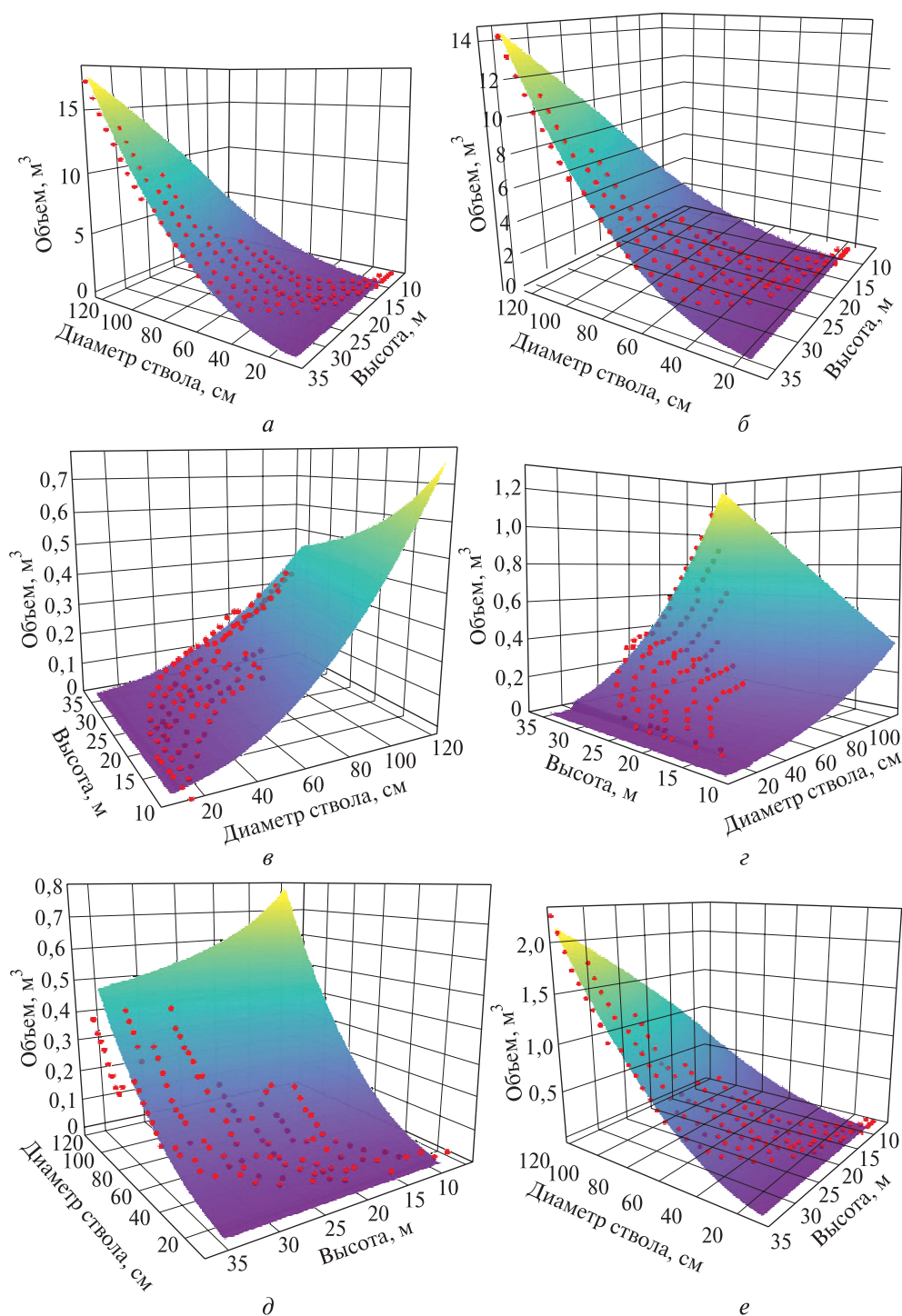


Рис. 1. Многофакторные математические модели объемов древесины дуба: *a* — общий объем ствола в коре; *б* — дрова; *в* — общий объем деловой древесины; *г* — фризные кряжи; *д* — технологическое сырье; *е* — отходы; точками обозначены фактические объемы для середин ступеней толщины; сплошной поверхностью — непрерывная расчетная модель Шумахера — Холла

Fig. 1. Multifactorial mathematical models of oak timber volumes: *a* — total trunk volume in bark; *б* — firewood; *в* — total volume of commercial timber; *г* — frieze logs; *д* — process raw materials; *е* — waste

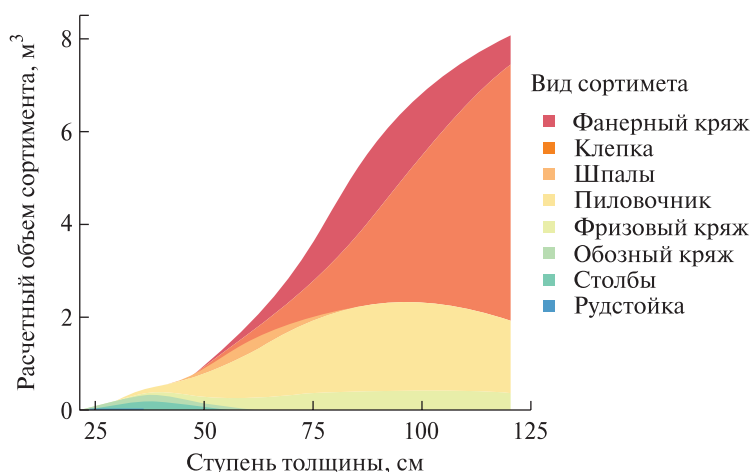


Рис. 2. Закономерности смены сортиментной структуры дуба по мере увеличения диаметра ствола (моделирование долевым методом для фиксированной высоты 25 м)

Fig. 2. Patterns of change in the assortment structure of oak as the trunk diameter increases (modeling using the fractional method for a fixed height of 25 m)

Одной из ключевых задач современной таксации леса является точный прогноз выхода целевых сортиментов в зависимости от мерных показателей дерева. Традиционно используемые однофакторные модели (зависимость объема от диаметра сортимента внутри разряда высот) обладают ограниченной экстраполяционной способностью, поэтому актуальность приобрела разработка универсальной системы многофакторных математических моделей для прогнозирования сортиментной структуры дуба с шагом по толщине 2 см вплоть до диаметра ствола 160 см, с обеспечением свойства аддитивности (сходимости) сортиментов [24–26].

Обработка данных и статистический анализ проведены в среде программирования R 4.4.0 (с использованием пакетов *dplyr*, *ggplot2* и *plotly*). Для моделирования был применен дифференцированный (комбинированный) подход, учитывающий биологическую и технологическую специфику различных сортиментов.

Весь массив целевых переменных был разделен на группы А и Б.

Группа А — базовые таксационные показатели (объем ствола в коре, деловая древесина, лафет, балка, фриза).

Для показателей, монотонно возрастающих по мере увеличения габаритов дерева, применено классическое многофакторное уравнение Шумахера — Холла (Schumacher — Hall)

$$V = a \cdot D^b \cdot H^c,$$

где V — объем круглого сортимента;

D — диаметр ствола на высоте земной поверхности 1,3 м от поверхности земли (см);

H — высота ствола (м);

a, b, c — эмпирические коэффициенты.

Для устранения гетероскедастичности дисперсии (возрастания ошибки у крупномерных деревьев) параметризация уравнений проводилась методом наименьших квадратов (МНК) после логарифмической линеаризации

$$\ln(V) = \ln(a) + b \cdot \ln(D) + c \cdot \ln(H).$$

Группа Б — целевые (специфические) сортименты (фанерный кряж, пиловочник, шпалы, клепка, обозный кряж, рудстойка, столбы).

Прямое моделирование специфических сортиментов степенными функциями приводит к систематическим ошибкам у толстомерных деревьев (экспоненциальный рост объема вместо его стабилизации и падения) [29]. Для решения этой проблемы был применен долевого метод. Выход сортимента моделировался как его доля (*Share*) от общего объема деловой древесины с использованием модифицированной функции Херля (Hoerl function)

$$\text{Share} = a \cdot D^b \cdot e^{c \cdot D},$$

где *Share* — расчетная теоретическая доля сортимента в деловой древесине, выраженная в долях единицы (от 0 до 1);

a — базовый коэффициент масштаба (получаемый как антилогарифм свободного члена: $e^{\ln(a)}$, определяющий общую потенциальную емкость ствола для данного сортимента);

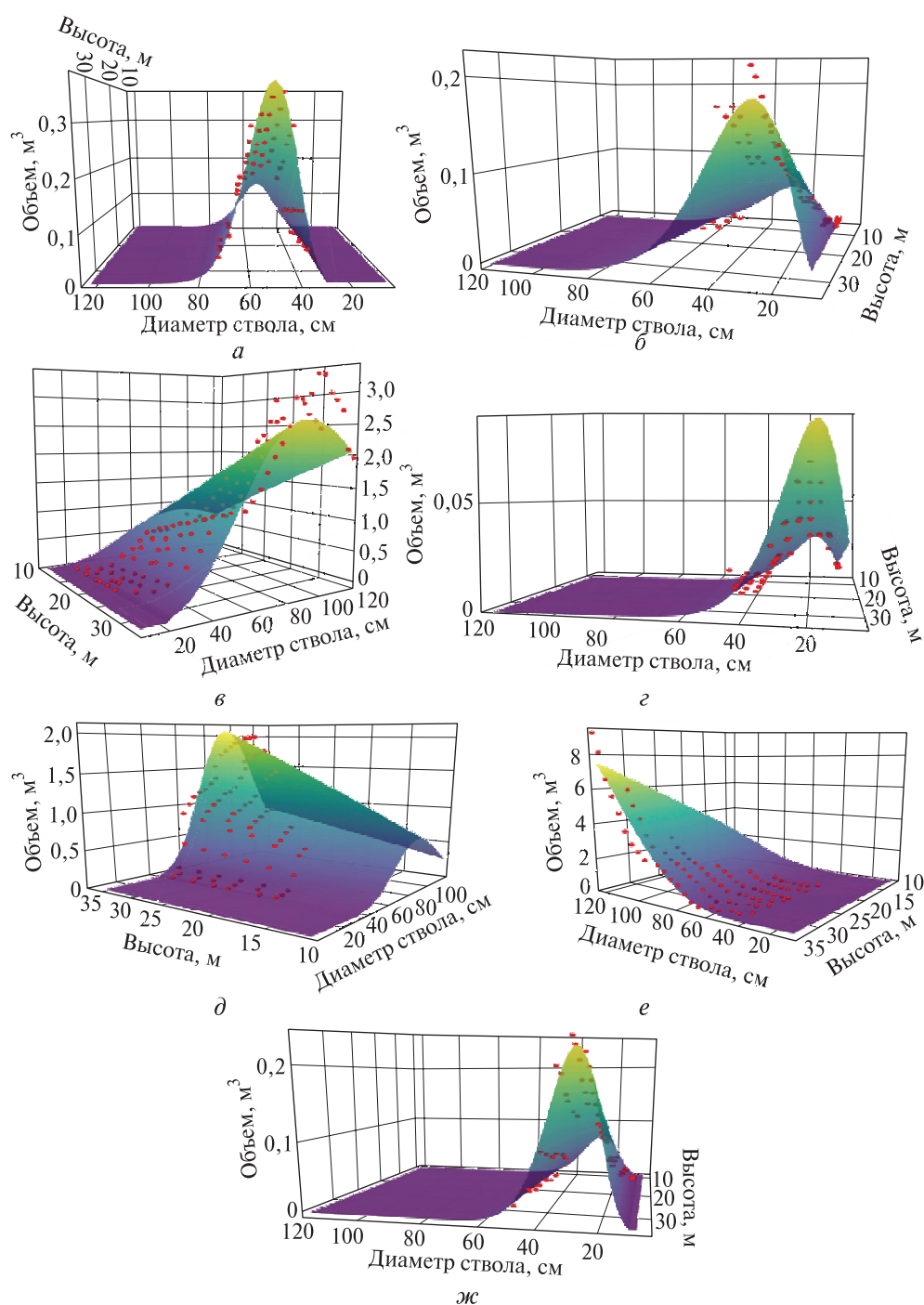


Рис. 3. Многофакторные математические модели объемов (по доленой функции Херля) целевых сортиментов дуба: *а* — шпальные кряжи; *б* — обозные кряжи; *в* — пиловочник; *г* — рудстойка; *д* — фанерные кряжи; *е* — клепка; *ж* — столбы; точками на графиках обозначены эмпирические значения объемов для середин соответствующих ступеней толщины; цветной поверхностью — непрерывная расчетная модель

Fig. 3. Multifactor mathematical models of volumes (based on the Hörl share function) of target oak assortments: *a* — sleeper logs; *б* — wagon logs; *в* — sawlogs; *г* — ore props; *д* — veneer logs; *е* — staves; *ж* — posts; the dots on the graphs indicate the empirical values of volumes for the midpoints of the corresponding thickness grades; the colored surface indicates the continuous calculation model

D — диаметр ствола, см;

b — степенной показатель при диаметре, характеризующий скорость «вступления» дерева в фазу зрелости для заданного сортимента;

c — экспоненциальный параметр затухания, определяющий интенсивность вытеснения текущего сортимента другими фракциями по мере утолщения ствола.

Итоговый расчетный объем целевого сортимента определялся по уравнению

$$V_{\text{сорт}} = V_{\text{дел}} \cdot \text{Share}.$$

При расчетах был введен жесткий контроль биологического минимума $D_{\min}$: объем сортимента принимался равным нулю, если расчетный диаметр ствола был меньше минимального диаметра появления данной фракции в эмпирической базе. Для осуществления непрерывной экстраполяции до 160 см по диаметру. Для каждого дискретного разряда высот (от Ia до V) были построены индивидуальные логарифмические кривые высот вида

$$H = a_h + b_h \cdot \ln(D)$$

Применение уравнения Шумахера — Холла для общих объемов ствола и деловой древесины показало исключительно высокую точность аппроксимации. Коэффициент детерминации R^2 для общего объема ствола составил более 0,99, а для деловой древесины — 0,98.

Переход к долевым моделям (функция Херля) для специфических сортиментов позволил математически точно описать колоколообразную динамику их выхода (рис. 1).

На рис. 2 наглядно прослеживается технологическая эволюция ствола: в тонкомерной стадии преобладают рудстойка и столбы. Начиная с диаметра ствола 20...24 см, их стремительно вытесняют пиловочник и шпалы. В категории крупномеров ($D > 40...50$ см) доля пиловочника достигает своего пика и начинает плавно снижаться, уступая доминирующее положение наиболее ценному сортименту — фанерному кряжу. Применение функции Херля позволило избежать нереалистичного завышения объемов пиловочника [34–36] на экстремально больших диаметрах (100...160 см).

Поверхность модели органично огибает оптимум эмпирических данных.

На основе полученной системы уравнений была сгенерирована итоговая расчетная матрица. Алгоритм, включающий в себя прогнозирование высот, расчет деловой древесины, вычисление долей сортиментов и их конвертацию в кубические метры, позволил рассчитать непрерывные сортиментные таблицы для всех шести разрядов высот со ступенями толщины от 8 до 160 см (шаг 2 см).

Представленные трехмерные модели (см. рис. 1 и 3) позволяют визуально оценить тенденции накопления различных фракций древесины.

Параметры аллометрических и долевого уравнений для расчета сортиментной структуры

Parameters of allometric and proportional equations for the assortment structure calculating

Тип модели	Сортимент	Минимальный диаметр ствола $D_{\min}$, см	Коэффициент масштаба a	Показатель степени при диаметре ствола b	Показатель степени при высоте ствола c	Коэффициент детерминации R^2
Степенная (Шумахер — Холл)	Объем ствола в коре	8	7.25E-05	2,0194	0,7688	0,999
	Итоговая деловая древесина	8	3.24E-05	2,0554	0,891	0,998
	Кряжи для фриз	20	2.45E-06	2,0112	0,999	0,879
	Техсырье	12	0,000149	1,9835	–0,4014	0,958
	Дрова топливные	12	0,00116	2,0479	–0,4385	0,948
	Отходы	8	0,000028	1,7779	0,7675	0,991
Долевая (Херль)	Фанерный кряж	40	4.41E-23	15,0276	–0,1945	0,854
	Пиловочник	20	3.19E-05	3,1946	–0,0573	0,829
	Клепка	36	4.61E-12	6,7443	–0,057	0,984
	Шпалы	32	1.06E-38	29,7354	–0,6154	0,973
	Обозный кряж	8	0.01385	2,1612	–0,1548	0,84
	Столбы	12	4.43E-10	9,6778	–0,4244	0,928
	Рудстойка	8	0,09067	1,7531	–0,2172	0,965

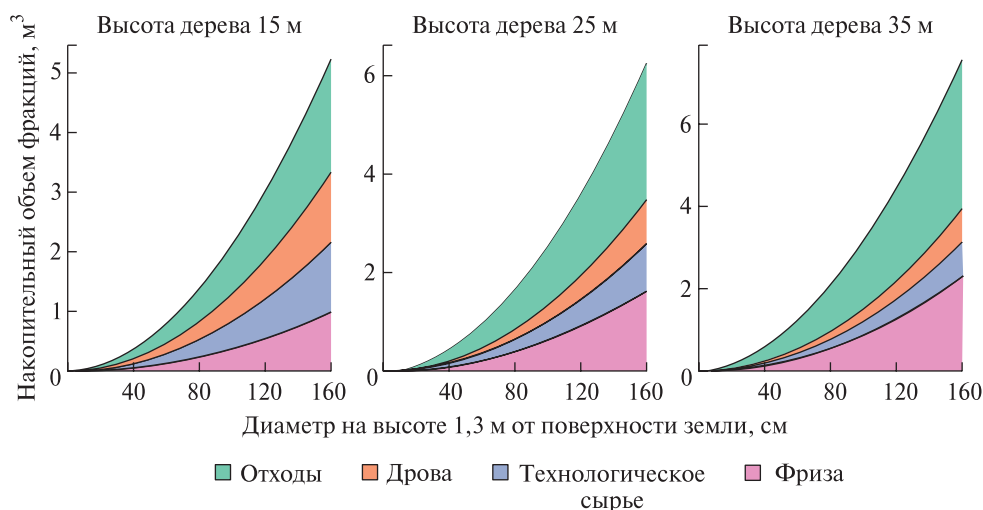


Рис. 4. Накопительная сортиментная структура дуба по многофакторным аллометрическим моделям Шумахера — Холла для фиксированных высот ствола (15, 25 и 35 м) с экстраполяцией диаметров до 160 см

Fig. 4. Cumulative assortment structure of oak according to multifactorial allometric Schumacher — Hall models for fixed trunk heights (15, 25 and 35 m) with extrapolation of diameters up to 160 cm

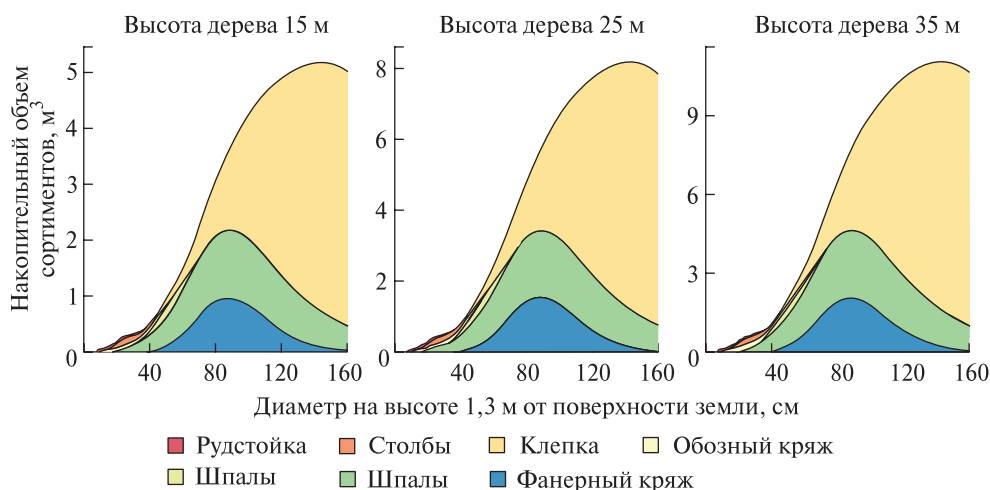


Рис. 5. Накопительная сортиментная структура дуба на базе долеговых моделей Херля; линии разделения слоев (для высот 15, 25 и 35 м) с экстраполяцией диаметров до 160 см

Fig. 5. Cumulative assortment structure of oak based on Hörl's share models; layer separation lines (for heights of 15, 25, and 35 m) with extrapolation of diameters up to 160 cm

Математической основой данных графических зависимостей служит единая таблица рассчитанных коэффициентов (таблица). Разработанная система многофакторных математических моделей является эффективным и биологически обоснованным инструментом. Комбинация степенной функции Шумахера — Холла (для базисных объемов) [27] и функции Херля (для оценки доли целевых сортиментов) [28]

решает проблему экстраполяции данных на перестойные и крупномерные древостои (рис. 4, 5).

Свойство внутренней нормализации долевого метода гарантирует аддитивность таблиц: сумма объемов расчетных сортиментов не выходит за пределы смоделированного объема деловой древесины. Полученная расчетная матрица может служить нормативной базой материальной оценки дубрав.

Выводы

Разработана универсальная система многофакторных математических моделей для прогнозирования сортиментной структуры дуба диаметрами стволов от 8 до 160 см с шагом по толщине 2 см. Показано, что разработанная система является эффективным и биологически обоснованным инструментом, в частности, комбинация степенной функции Шумахера — Холла для базисных объемов и функции Херля для оценки доли целевых сортиментов решает проблему экстраполяции данных на перестойные и крупномерные древостои.

Разработанная методика может служить основой для повышения точности оценки товарности насаждений и определения оптимального размера лесопользования, в частности, органами исполнительной власти, уполномоченными в сфере лесных отношений, для принятия эффективных управленческих решений, а также предприятиями лесопромышленного комплекса при заготовке, транспортировке и переработке древесины. Практическое применение новых нормативов позволит повысить точность оценки сортиментной и товарной структуры насаждений, сократить производственные расходы на заготовку древесины, улучшить нормативную базу лесохозяйственных мероприятий.

Работа проведена в рамках государственного задания Федерального агентства лесного хозяйства (регистрационный номер НИОКТР: 126021217155-5) по теме «Совершенствование системы нормативов оценки сортиментной и товарной структуры древостоев для лесостепной зоны Центрально-Черноземного региона Европейской части России».

Список литературы

- [1] Национальный проект «Экологическое благополучие». URL: <http://government.ru/rugovclassifier/919/about/> (дата обращения 19.04.2026).
- [2] Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405070015> (дата обращения 19.04.2026).
- [3] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 26 сентября 2013 года № 1724-р «Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в российской федерации на период до 2030 года» (с изменениями на 1 сентября 2025 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/499047151> (дата обращения 19.04.2026).
- [4] Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 N 312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377162 (дата обращения 19.04.2026).
- [5] Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2023 № 603 «Об утверждении приоритетных направлений проектов технологического суверенитета и проектов структурной адаптации экономики Российской Федерации и Положения об условиях отнесения проектов к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации, о представлении сведений о проектах технологического суверенитета и проектах структурной адаптации экономики Российской Федерации и ведении реестра указанных проектов, а также о требованиях к организациям, уполномоченным представлять заключения о соответствии проектов требованиям к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации». URL: <http://government.ru/docs/all/147043> (дата обращения 19.04.2026).
- [6] Лесной кодекс Российской Федерации. Статья 23.3. Отвод и таксация лесосек. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/f45248618c8fe602c7a5716cde7c408f611363c8/ (дата обращения 19.04.2026).
- [7] Вариводина И.Н., Орнатский А.Н., Вариводина А.А. О необходимости разработки новых нормативов оценки сортиментной и товарной структуры древостоев, полученных на основе исследований региональных особенностей формирования насаждений, их строения и товарности // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Сборник материалов XI Всерос. науч.-техн. конф. 20–22 мая 2026 г., Санкт-Петербург, Россия, 2026. URL: www.spbftu.ru/lesarf2026/ (дата обращения 19.04.2026).
- [8] Желдак В.И., Дорощенко Э.В. Методика закладки и использования учетно-тренировочных пробных площадей при освоении лесоводственных мероприятий ухода за лесом. Пушкино: Изд-во ВНИИЛМ, 2024. 34 с.
- [9] Славский В.А., Матвеев С.М. Некоторые аспекты закладки пробных площадей при проведении государственной инвентаризации лесов // Лесотехнический журнал, 2021. Т. 11. № 1 (41). С. 56–63. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/5
- [10] Алексеев А.С. Опыт статистической инвентаризации лесов России и современные проблемы формирования системы национальной инвентаризации лесов // Государственный лесной реестр, государственная инвентаризация лесов и лесоустройство: Материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 29 ноября – 01 декабря 2012 г. М.: Рослесинфорг, 2013. С. 92–96.
- [11] Сортиментные таблицы для лесов центральных и южных районов Европейской части РСФСР. М.: Изд-во Государственного комитета СССР по лесному хозяйству, 1987. 128 с.
- [12] Харченко Н.А., Харченко Н.Н. К вопросу о естественном возобновлении дуба черешчатого под пологом материнского древостоя // Лесотехнический журнал, 2013. № 4(12). С. 42–53.

- [13] Приказ Минприроды России от 30 июля 2020 года № 534 «Об утверждении Правил ухода за лесами». URL: <https://docs.cntd.ru/document/565780469> (дата обращения 19.04.2026).
- [14] Прядкин В.И., Бартенев И.М. Эколого-экономическая оценка применения сортиментной технологии заготовки древесины на рубках ухода // Лесотехнический журнал, 2018. Т. 8. № 4 (32). С. 250–259.
- [15] Газизулин А.Х., Зарипов И.Н., Хаффаев И.Х. Деградация дубрав Республики Татарстан и перспективы их восстановления // Дуб – порода третьего тысячелетия. Гомель: Изд-во Института леса Национальной академии наук Беларуси, 1998. С. 148–150.
- [16] Чураков Б.Г., Алеева Л.Р. Структура дубовых насаждений и возможности порослевого возобновления в дубравах Среднего Поволжья // ИзВУЗ./ Лесной журнал, 2002. № 1. С. 24–31.
- [17] Липка О.Н., Корзухин М.Д., Замолотчиков Д.Г. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // Лесоведение, 2021. № 5. С. 531–546.
- [18] Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Каганов В.В. Экосистемные услуги и пространственное распределение защитных лесов Российской Федерации // Лесоведение, 2021. № 6. С. 581–592.
- [19] Лесной фонд России. Справочник. М.: Изд-во ВНИИЦЛесресурс, 1999. 649 с.
- [20] Приказ Минприроды России от 17.10.2022 № 688 «Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек и о внесении изменений в Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации, утвержденные приказом Минприроды России от 1 декабря 2020 г. № 993». URL: <https://docs.cntd.ru/document/352246458> (дата обращения 19.04.2026).
- [21] Приказ Минприроды России от 01.12.2020 № 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573123735> (дата обращения 19.04.2026).
- [22] ГОСТ 9462–2025 «Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия». М.: Изд-во Института стандартизации, 2025. 12 с.
- [23] ГОСТ 2140–81 «Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения». М.: Издательство стандартов, 1997. 121 с.
- [24] Вариводина И.Н., Якунина А.П. Анализ и сравнение опыта учета круглых лесоматериалов в России и за рубежом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. Т. 2. № 3 (8–3). С. 146–149. DOI 10.12737/4213
- [25] Беляев Н.Л., Куницкая О.А., Вернер Н.Н., Тихонов Е.А., Алексеенко В.Г. Направления совершенствования учета круглых лесоматериалов и его нормативной базы для эффективного использования мобильных цифровых технологий // Системы. Методы. Технологии, 2023. № 2 (58). С. 129–138.
- [26] Шашков Д.А. Особенности учета круглых лесоматериалов в зарубежных странах // World Science: Problems and Innovations: XLV Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 30 августа 2020 г. Пенза: Наука и Просвещение, 2020. С. 56–58.
- [27] Schumacher F.X., Hall F.S. Logarithmic expression of timber-tree volume // J. of Agricultural Research, 1933, v. 47, no. 9, pp. 719–734
- [28] Mikhaylov P.V., Shevelev S.L., Sultson S.M., Verkhotovets S.V., Goroshko A.A. Modeling of growth and development of spruce stands in the West Siberian South taiga plain forest region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, v. 677, p. 052121. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052121>
- [29] ГОСТ 2708–75 Лесоматериалы круглые. Таблицы объемов. М.: Издательство стандартов, 1999. 37 с.
- [30] Исламова Г.Г. Применение различных пакетов программ при решении задач по моделированию // Повышение эффективности и устойчивости развития агропромышленного комплекса: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (в рамках XV Междунар. специализ. выставки «АгроКомплекс – 2005»), Уфа, 01–03 марта 2005 г. Уфа: Изд-во Башкирского государственного аграрного университета, 2005. С. 258–259.
- [31] ГОСТ 9462–2016 Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия. М: Стандартинформ, 11 с.
- [32] ГОСТ 9463–2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. М: Стандартинформ, 12 с.
- [33] Алексеев А.С. Основные принципы организации и проведения государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) // Вопросы лесной науки, 2019. Т. 2 (1). С. 1–18. DOI 10.31509/2658-607x-2019-2-1-1-18
- [34] Афанасьева И.А., Жураковский В.Н. Моделирование трехмерных объектов в движении в пакете прикладных программ Matlab // Наука без границ, 2018. № 4 (21). С. 80–84.
- [35] Shang Ch., Coops N.C., Wulder M.A. Update and spatial extension of strategic forest inventories using time series remote sensing and modeling // International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2020, v. 84, pp. 1229–1241. DOI: 10.1177/0309133309342643
- [36] Noordermeer L., Gobakken T., Næsset E., Bollandsas O.-M. Predicting and mapping site index in operational forest inventories using bitemporal airborne laser scanner data // Forest Ecology and Management, 2020, v. 457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117768>

Сведения об авторах

Вариводина Инна Николаевна — канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотр. отдела лесной генетики и биотехнологии (Центр лесных биотехнологий), ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», varivodinna@rambler.ru

Орнатский Александр Николаевич — канд. биол. наук, заместитель директора по общим вопросам, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», lesnik-rm@yandex.ru

Мусиевский Александр Леонидович — канд. с.-х. наук, доцент, ст. науч. сотр. отдела био-разнообразия, рационального лесопользования и лесовыращивания, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», musievsky@mail.ru

Гудкова Ксения Александровна — мл. науч. сотр. отдела лесной генетики и биотехнологии (Центр лесных биотехнологий), ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», blumks@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.03.2026.

Одобрено после рецензирования 03.06.2026.

Принята к публикации 22.08.2026.

IMPROVING SYSTEM OF STANDARDS FOR ASSESSING CUT-TO-LENGTH PEDUNCULATE OAK (QUERCUS ROBUR) STANDS STRUCTURE IN RUSSIAN FOREST-STEPPE CENTRAL BLACK EARTH REGION BY USING MULTIFACTORIAL MATHEMATICAL MODELING

I.N. Varivodina[✉], A.N. Ornatskiy, A.L. Musiyevskiy, K.A. Gudkova

All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», 105, Lomonosov st., 394087, Voronezh, Russia

varivodinna@rambler.ru

Due to the digitalization of the forest complex of the Russian Federation (the Federal State Information System of the Forest Complex (FGIS LC), the State Forest Inventory (GIL) is becoming an urgent task to improve the accuracy of forest ecosystem assessment when harvesting wood and assessing damage caused by the impact of natural and anthropogenic factors on ecosystems. The aim of the study was to develop a universal system of multifactorial mathematical models for predicting the sorting structure of oak with a step in thickness of 2 cm up to a diameter of 160 cm, ensuring the additivity (convergence) properties of the sorts. The system of multifactorial mathematical models developed during the research is an effective and biologically justified tool. The combination of the Schumacher-Hall power function (for basic volumes) and the Hurl function (for estimating the proportion of target species) solves the problem of extrapolating data to overmature and large-sized stands (up to 160 cm). The resulting calculation matrix can serve as a normative basis for the certification and material assessment of oak groves in the forest-steppe zone of the Russia Central Black Earth Region.

Keywords: timber complex, cruise, assortment, compartment description, commodification, stock

Suggested citation: Varivodina I.N., Ornatskiy A.N., Musiyevskiy A.L., Gudkova K.A. *Sovershenstvovaniye sistemy normativov otsenki sortimentnoy struktury drevostoyev duba chereschatogo (Quercus robur) dlya lesostepi Tsentral'no-Chernozemnogo regiona Rossii s ispol'zovaniyem mnogofaktornogo matematicheskogo modelirovaniya* [Improving system of standards for assessing cut-to-length Pedunculate oak (*Quercus robur*) stands structure in Russian forest-steppe Central Black Earth Region by using multifactorial mathematical modeling]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 5, pp. 32–46.

DOI: 10.17816/2542-1468-2026-5-32-46

References

- [1] *Natsional'nyy proyekt «Ekologicheskoye blagopoluchiye»* [National Project «Environmental Well-Being»]. Available at: <http://government.ru/rugovclassifier/919/about/> (accessed 19.04.2026).
- [2] *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 maya 2024 g. № 309 «O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda»* [Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024 no. 309 «On the National Development Goals of the Russian Federation for the Period up to 2030 and for the Perspective Up to 2036»]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/000120240507001> (accessed 19.04.2026).
- [3] *Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 26 sentyabrya 2013 goda № 1724-r «Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoy politiki v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov v rossiyskoy federatsii na period do 2030 goda» (s izmeneniyami na 1 sentyabrya 2025 goda)* [Order of the Government of the Russian Federation of September 26, 2013 no. 1724-r «On Approval of the Fundamentals of State Policy in the Field of Use, Protection, Conservation, and Reproduction of Forests in the Russian Federation for the Period up to 2030» (as amended on September 1, 2025)]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/499047151> (accessed 19.04.2026).
- [4] *Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 11.02.2021 N 312-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda»* [Order of the Government of the Russian Federation of February 11, 2021 no. 312-r «On Approval of the Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030»]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377162 (accessed 19.04.2026).
- [5] *Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 15.04.2023 № 603 «Ob utverzhdenii prioritetnykh napravleniy proyektov tekhnologicheskogo suvereniteta i proyektov strukturnoy adaptatsii ekonomiki Rossiyskoy Federatsii i Polozheniya ob usloviyakh otneseniya proyektov k proyektam tekhnologicheskogo suvereniteta i proyektam strukturnoy adaptatsii ekonomiki Rossiyskoy Federatsii, o predstavlenii svedeniy o proyektakh tekhnologicheskogo suvereniteta i proyektakh strukturnoy adaptatsii ekonomiki Rossiyskoy Federatsii i vedenii reyestra ukazannykh proyektov, a takzhe o trebovaniyakh k organizatsiyam, upolnomochennym predstavlyat' zaklyucheniya o sootvetstvii proyektov trebovaniyam k proyektam tekhnologicheskogo suvereniteta i proyektam strukturnoy adaptatsii ekonomiki Rossiyskoy Federatsii»* [Resolution of the Government of the Russian Federation of 15.04.2023 No. 603 «On Approval of Priority Areas of Technological Sovereignty Projects and Structural Adaptation Projects of the Russian Federation Economy and the Regulation on the Conditions for Classifying Projects as Technological Sovereignty Projects and Structural Adaptation Projects of the Russian Federation Economy, on the Submission of Information on Technological Sovereignty Projects and Structural Adaptation Projects of the Russian Federation Economy and the Maintenance of a Register of the Said Projects, as well as on the Requirements for Organizations Authorized to Submit Conclusions on the Compliance of Projects with the Requirements for Technological Sovereignty Projects and Structural Adaptation Projects of the Russian Federation Economy»]. Available at: <http://government.ru/docs/all/147043> (accessed 19.04.2026).
- [6] *Lesnoy Kodeks RF. Stat'ya 23.3. Otvod i taksatsiya lesosek* [Forest Code of the Russian Federation. Article 23.3. Allocation and Inventory of Logging Areas]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/f45248618c8fe602c7a5716cde7c408f611363c8/ (accessed 19.04.2026).
- [7] Varivodina I.N., Ornatskiy A.N., Varivodina A.A. *O neobkhodimosti razrabotki novykh normativov otsenki sortimentnoy i tovarnoy struktury drevostoyev, poluchennykh na osnove issledovaniy regional'nykh osobennostey formirovaniya nasazhdeniy, ikh stroeniya i tovarnosti* [On the need to develop new standards for assessing the assortment and commercial structure of forest stands, obtained on the basis of studies of regional features of the formation of plantations, their structure and marketability]. *Les Rossiya: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye: sb. mater. XI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Forests of Russia: policy, industry, science, education: collection of materials. XI All-Russian scientific and technical conference], St. Petersburg, Russia, 2026. Available at: www.spbftu.ru/lesarf2026/ (accessed 19.04.2026).
- [8] *Metodika zakladki i ispol'zovaniya ucheto-trenirovochnykh probnykh ploshchadey pri osvoenii lesovodstvennykh meropriyatiy ukhoda za lesom* [Methodology for establishing and using accounting and training test plots in the development of silvicultural measures for forest care]. Pushkino: VNIILM, 2024, 34 p.
- [9] Slavskiy V.A., Matveyev S.M. *Nekotoryye aspekty zakladki probnykh ploshchadey pri provedenii gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Some aspects of establishing test plots during the state forest inventory]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering J.], 2021, v. 11, no. 1 (41), pp. 56–63. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/5
- [10] Alekseyev A.S. *Opyt statisticheskoy inventarizatsii lesov Rossii i sovremennyye problemy formirovaniya sistemy natsional'noy inventarizatsii lesov* [Experience of statistical inventory of Russian forests and modern problems of forming a national forest inventory system]. *Gosudarstvennyy lesnoy reyestr, gosudarstvennaya inventarizatsiya lesov i lesoustroystvo* [State Forest Register, State Forest Inventory and Forest Management]. Proc. 3rd Int. scientific and practical conference, Moscow, November 29–December 1, 2012. Moscow: Roslesinforg, 2013, pp. 92–96.
- [11] *Sortimentnyye tablitsy dlya lesov tsentral'nykh i yuzhnykh rayonov Yevropeyskoy chasti RSFSR* [Assortment tables for forests in the central and southern regions of the European part of the RSFSR]. Moscow: USSR State Forestry Committee, 1987, 128 p.
- [12] Kharchenko N.A., Kharchenko N.N. *K voprosu o yestestvennom vozobnovlenii duba chereschatogo pod pologom materinskogo drevostoya* [On the issue of natural regeneration of pedunculate oak under the canopy of the parent tree stand]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry J.], 2013, no. 4(12), pp. 42–53.
- [13] *Minprirody RF Prikaz ot 30 iyulya 2020 goda № 534 «Ob utverzhdenii Pravil ukhoda za lesami»* [Ministry of Natural Resources of the Russian Federation Order of July 30, 2020 no. 534 «On approval of the Forest Care Rules»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/565780469> (accessed 19.04.2026).

- [14] Pryadkin V.I., Bartenev I.M. *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka primeneniya sortimentnoy tekhnologii zagotovki drevesiny na rubkakh ukhoda* [Ecological and economic assessment of the application of assortment technology for timber harvesting in thinnings]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry J.], 2018, v. 8, no. 4 (32), pp. 250–259.
- [15] Gazizulin A.KH., Zaripov I.N., Khaffazov I.KH. *Degradatsiya dubrav Respubliki Tatarstan i perspektivy ikh vosstanovleniya* [Degradation of oak groves of the Republic of Tatarstan and prospects for their restoration]. *Dub – poroda tret'yego tysyacheletiya* [Oak – a tree species of the third millennium]. Gomel: Publishing house of the Institute of Forestry of the National Academy of Sciences of Belarus, 1998, pp. 148–150.
- [16] Churakov B.G., Aleyeva L.R. *Struktura dubovykh nasazhdeniy i vozmozhnosti poroslevogo vozobnovleniya v dubravakh Srednego Povolzh'ya* [Structure of oak stands and the potential for coppice regeneration in oak groves of the Middle Volga region]. *Russian Forestry J.*, 2002, no. 1, pp. 24–31.
- [17] Lipka O.N., Korzukhin M.D., Zamolodchikov D.G. *Rol' lesov v adaptatsii prirodnnykh sistem k izmeneniyam klimata* [The role of forests in the adaptation of natural systems to climate change]. *Lesovedenie*, 2021, no. 5, pp. 531–546.
- [18] Zamolodchikov D.G., Grabovskiy V.I., Kaganov V.V. *Ekosistemnyye uslugi i prostranstvennoye raspredeleniye zashchitnykh lesov Rossiyskoy Federatsii* [Ecosystem services and spatial distribution of protective forests of the Russian Federation]. *Lesovedenie*, 2021, no. 6, pp. 581–592.
- [19] *Lesnoy fond Rossii. Spravochnik* [Forest Fund of Russia. Handbook]. Moscow: VNIITsLesresurs, 1999. 649 p.
- [20] *Prikaz Minprirody Rossii ot 17.10.2022 № 688 «Ob utverzhdenii Poryadka otvoda i taksatsii leseok i o vnesenii izmeneniy v Pravila zagotovki drevesiny i osobennosti zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, ukazannykh v stat'ye 23 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii, utverzhdennyye prikazom Minprirody Rossii ot 1 dekabrya 2020 g. № 993»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated October 17, 2022 no. 688 «On approval of the Procedure for the allocation and taxation of cutting areas and on amendments to the Wood Harvesting Rules and features of timber harvesting in forestry areas specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation, approved by Order of the Russian Ministry of Natural Resources dated December 1, 2020 no. 993»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/352246458> (accessed 19.04.2026).
- [21] *Prikaz Minprirody Rossii ot 01.12.2020 № 993 «Ob utverzhdenii Pravil zagotovki drevesiny i osobennostey zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, ukazannykh v stat'ye 23 Lesnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 1, 2020 no. 993 «On approval of the Rules for timber harvesting and the specifics of timber harvesting in forest areas specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573123735> (accessed 19.04.2026).
- [22] *GOST 9462–2025 «Lesomaterialy kruglyye listvennykh porod. Tekhnicheskiye usloviya»* [GOST 9462–2025 «Round hardwood timber. Technical conditions»]. Moscow: Institute of Standardization, 2025, 12 p.
- [23] *GOST 2140–81 «Vidimyye poroki drevesiny. Klassifikatsiya, terminy i opredeleniya, sposoby izmereniya»* [GOST 2140–81 «Visible defects of wood. Classification, terms and definitions, methods of measurement»]. Moscow: IPC Standards Publishing House, 1997, 121 p.
- [24] Varivodina I.N., Yakunina A.P. *Analiz i sravneniye opyta ucheta kruglykh lesomaterialov v Rossii i za rubezhom* [Analysis and comparison of experience in accounting for round timber in Russia and abroad]. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014, v. 2, no. 3 (8–3), pp. 146–149. DOI 10.12737/4213
- [25] Belyayev N.L., Kunitskaya O.A., Verner N.N., Tikhonov Ye.A., Alekseyenko V.G. *Napravleniya sovershenstvovaniya ucheta kruglykh lesomaterialov i yego normativnoy bazy dlya effektivnogo ispol'zovaniya mobil'nykh tsifrovyykh tekhnologiy* [Directions for improving the accounting of round timber and its regulatory framework for the effective use of mobile digital technologies]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2023, no. 2 (58), pp. 129–138.
- [26] Shashkov D.A. *Osobennosti ucheta kruglykh lesomaterialov v zarubezhnykh stranakh* [Features of accounting for round timber in foreign countries]. *World Science: Problems and Innovations: XLV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [World Science: Problems and Innovations: XLV International. scientific-practical Conf.], Penza, August 30, 2020. Penza: Science and Education, 2020, pp. 56–58.
- [27] Schumacher F.X., Hall F.S. Logarithmic expression of timber-tree volume. *J. of Agricultural Research*, 1933, v. 47, no. 9, pp. 719–734
- [28] Mikhaylov P.V., Shevelev S.L., Sultson S.M., Verkhovets S.V., Goroshko A.A. Modeling of growth and development of spruce stands in the West Siberian South taiga plain forest region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, v. 677, p. 052121. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052121>
- [29] *GOST 2708–75 Lesomaterialy kruglyye. Tablitsy ob'yemov* [GOST 2708–75 Round timber. Volume tables]. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1999, 37 p.
- [30] Islamova G.G. *Primeneniye razlichnykh paketov programm pri reshenii zadach po modelirovaniyu* [Application of various software packages when solving modeling problems]. *Povysheniye effektivnosti i ustoychivosti razvitiya agro-promyshlennogo kompleksa: mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. (v ramkakh XV Mezhdunar. spetsializ. vystavki «Agro-Kompleks – 2005»)* [Increasing the efficiency and sustainability of the development of the agro-industrial complex: material. All-Russian scientific-practical conf. (within the framework of the XV International Specialized Exhibition «AgroComplex – 2005»)], Ufa, March 01–03, 2005. Ufa: Publishing House of the Bashkir State Agrarian University, 2005, pp. 258–259.
- [31] *GOST 9462–2016 Lesomaterialy kruglyye listvennykh porod. Tekhnicheskiye usloviya* [GOST 9462–2016 Round hardwood timber. Technical conditions]. Moscow: Standardinform, 11 p.
- [32] *GOST 9463–2016 Lesomaterialy kruglyye khvoynnykh porod. Tekhnicheskiye usloviya* [GOST 9463–2016 Round softwood timber. Technical conditions]. Moscow: Standardinform, 12 p.

- [33] Alekseyev A.S. *Osnovnyye printsipy organizatsii i provedeniya gosudarstvennoy inventarizatsii lesov (GIL)* [Basic principles of organizing and conducting state forest inventory (GIL)]. *Voprosy lesnoy nauki* [Questions of forest science], 2019, t. 2 (1), pp. 1–18. DOI 10.31509/2658-607x-2019-2-1-1-18
- [34] Afanas'yeva I.A., Zhurakovskiy V.N. *Modelirovaniye trekhmernykh ob'yektov v dvizhenii v pakete prikladnykh programmatlab* [Modeling three-dimensional objects in motion in the Matlab application package]. *Nauka bez granits* [Science without borders], 2018, no. 4 (21), pp. 80–84.
- [35] Shang Ch., Coops N.C., Wulder M.A. Update and spatial extension of strategic forest inventories using time series remote sensing and modeling. *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, vol. 84, pp. 1229–1241. DOI: 10.1177/0309133309342643
- [36] Noordermeer L., Gobakken T., Næsset E., Bollandsas O.-M. Predicting and mapping site index in operational forest inventories using bitemporal airborne laser scanner data. *Forest Ecology and Management*, 2020, vol. 457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117768>

This work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Forestry Agency (R&D registration number: 126021217155-5) on the topic «Improving the system of standards for assessing the cut-to-length and commercial structure of forest stands in the forest-steppe zone of the Central Black Earth region of European Russia».

Authors' information

Varivodina Inna Nikolaevna✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of Forest Genetics and Biotechnology (Forest Biotechnology Center), All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, varivodinna@rambler.ru

Ornatskiy Aleksandr Nikolayevich — Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for General Affairs, All-Russian Scientific Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, lesnik-rm@yandex.ru

Musiyevskiy Aleksandr Leonidovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Senior Researcher, Biodiversity, Sustainable Forest Management and Afforestation Department, All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, musievsky@mail.ru

Gudkova Kseniya Aleksandrovna — Junior Researcher at the Department of Forest Genetics and Biotechnology (Center for Forest Biotechnology), All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, blumks@yandex.ru

Received 21.03.2026.

Approved after review 03.06.2026.

Accepted for publication 22.08.2026.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest