

ЛЕСА РОССИИ И ХОЗЯЙСТВО В НИХ



ЛЕСА РОССИИ И ХОЗЯЙСТВО В НИХ

Журнал

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-31334,
выдано Россвязьохранкультуры 05.03.2008 г.

Издается с 2002 года
Выходит четыре раза в год



Редакционный совет:

Е. П. Платонов – председатель
редакционного совета, главный редактор
В. В. Фомин – зам. гл. редактора
С. В. Залесов – зам. гл. редактора

Редколлегия:

А. В. Вураско, Э. Ф. Герц, З. Я. Нагимов,
И. В. Петрова, А. Н. Рахимжанов,
Р. Р. Сафин, Р. Р. Султанова,
В. А. Усольцев, П. А. Цветков

Редакция журнала:

Н. П. Бунькова – зав. редакционно-
издательским отделом
И. А. Панин – ответственный за выпуск
Е. Л. Михайлова – редактор
Т. В. Упорова – компьютерная верстка

Фото на обложке: И. А. Панин

Материалы для публикации подаются
ответственному за выпуск журнала
И. А. Панину
(контактный телефон 8 (952) 743-44-87,
e-mail: paninia@m.usfeu.ru)
или в РИО
(контактный телефон 8 (343) 221-21-44)

Подписано в печать 08.09.2026.
Дата выхода в свет 15.09.2026.
Формат 60×84/8. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 21,28. Усл. печ. л. 24,41.
Тираж 100 экз. (1-й завод 29 экз.).
Заказ № 8498.

Учредитель:
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Тел.: 8 (343) 221-21-00

Адрес редакции и издательства:
Редакционно-издательский отдел
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 33а/1
Тел.: 8 (343) 221-21-44

Цена свободная

Отпечатано с готового оригинал-макета
Типография
ООО ИЗДАТЕЛЬСТВО
«УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область,
Екатеринбург, пер. Лобачевского, 1, оф. 15

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», 2026

К сведению авторов

Внимание!

Журнал с 26.01.2023 был включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим специальностям и направлениям:

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные, биологические, технические науки);
4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины (технические, биологические, химические науки).

Редакция принимает только те материалы, которые полностью соответствуют обозначенным ниже требованиям.

Недоукомплектованный пакет материалов не рассматривается.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

1. Представляемые статьи должны содержать результаты научных исследований, которые можно использовать в практической работе специалистов лесного хозяйства, лесопромышленного комплекса и смежных с ними отраслей (экономики и организации лесопользования, лесного машиностроения, охраны окружающей среды и экологии), либо они должны представлять познавательный интерес (исторические материалы, краеведение и др.). Рекомендуемый объем статей – 8–10 страниц текста (не менее 4 страниц). Размер шрифта – 14, интервал – 1,5, гарнитура – Times New Roman, поля – 2,5 см со всех сторон. Абзацный отступ – 1 см.

2. Структура представляемого материала следующая.

Номер УДК определяется в соответствии с классификатором (выравнивание по левому краю, без абзацного отступа).

Заглавие статьи должно быть информативным. В заглавии можно использовать только общепринятые сокращения. Полушириное начертание. Без точки в конце (выравнивание по центру, без абзацного отступа).

Сведения об авторах: имя, отчество, фамилия полностью, место работы / учебы (официальное название организации без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ИАО, АО и т. п.), подразделение (при наличии), адрес (город и страна); электронный адрес автора без слова e-mail; ORCID ID автора (открытый идентификатор исследователя и участника) в форме электронного адреса <http://orcid.org/> (16 чисел).

(Выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.)

Аннотация должна соответствовать требованиям ГОСТ 7.9–95 «Реферат и аннотация. Общие требования».

Ключевые слова (от 3 до 10) – это определенные слова из текста, по которым могут вестись оценка и поиск статьи. В качестве ключевых слов могут использоваться как слова, так и словосочетания.

Благодарности. Заполняется по желанию авторов.

Финансирование. Заполняется по желанию авторов, если статья написана в рамках выполнения НИР, гранта и т. д.

(Аннотация, ключевые слова, благодарности, финансирование выравниваются по ширине.)

Далее следует на **английском языке** заглавие статьи, сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, благодарности, финансирование.

Текст статьи. Выравнивание по ширине. Необходимо выделить заголовками в тексте разделы «Введение», «Цель, задача, методика и объекты исследования», «Результаты исследования», «Дискуссия», «Выводы», «Список источников».

Ссылки на литературу, используемую в тексте, обозначаются в круглых скобках по фамилии первого автора. Например: (Иванов, 2021).

Линии графиков и рисунков в файле должны быть сгруппированы. Таблицы представляются в формате Word, формулы – в стандартном редакторе формул Word, структурные химические – в ISIS / Draw или сканированные, диаграммы – в Excel. Иллюстрации представляются в электронном виде в стандартном редакторе формул Word (Вставка – Объект – Создание – Тип объекта MathType 6.0 Equation, в появившемся окне набирается формула). Рекомендуется нумерацию формул также делать сквозной. Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Иллюстрации представляются в электронном виде в стандартных графических форматах. Также обязательно переводить названия к иллюстрациям, данные иллюстраций, табличные данные вместе с заголовками, непосредственно с показателями и примечаниями, т. е. сначала приводятся таблицы и иллюстрации на русском языке, затем на английском.

Оформление **Списка источников** производится в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» (на русском и английском языках). Составляется в алфавитном порядке.

В конце под заголовком **Информация об авторах** указываются инициалы авторов, фамилия, ученая степень и звание. По желанию автора указывается должность (ступень образования для студентов бакалавр / магистр / аспирант) с повторением наименования и адреса места работы (учебы) (выравнивание по левому краю).

3. На каждую статью требуется одна **внешняя** рецензия. **Внимание! Рецензентом может выступать только доктор наук или член Академии наук!**

4. На публикацию представляемых в редакцию материалов требуется письменное разрешение организации, на средства которой проводилась работа, если авторские права принадлежат ей.

5. Авторы представляют в редакцию журнала:

- статью в печатном и электронном виде (формат DOC или RTF) в одном экземпляре, без рукописных вставок, на одной стороне стандартного листа, подписанную на обороте последнего листа всеми авторами, с указанием даты сдачи материала. Материалы, присланные в полном объеме по электронной почте, дублировать на бумажных носителях необязательно.

Адрес электронной почты – journal_fr@m.usfeu.ru

- иллюстрации к статье (при наличии);
- рецензию;
- авторскую справку или экспертное заключение;
- согласие на публикацию статьи и персональных данных.

Содержание

Ерицов А. М., Куксин Г. В., Секерин И. М., Залесов С. В. Необходимость развития международного опыта в области охраны лесов от пожаров	4
Дружинин Ф. Н., Смирнов В. В. Инвентаризация и качество работ по воспроизводству лесов в Балтийско-Белозерском таежном районе таежной зоны	12
Попов А. Г., Семенюк В. В., Коптев С. В., Третьяков С. В. Потенциал пищевых и лекарственных ресурсов брусники (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.) Архангельской области	23
Марковская А. Н., Бунькова Н. П., Залесов С. В. Видовое разнообразие подлеска в лесном парке имени Лесоводов России и пути его обогащения	30
Кулагина Л. С., Кулагин А. А. Род <i>Populus</i> L. как ключевой компонент фиторемедиационного потенциала урбоэкосистем: механизмы устойчивости и адаптивные стратегии	39
Пузанков А. А., Хамитов Р. С., Хамитова С. М. Ход роста и возрастная динамика дуба черешчатого (<i>Quercus robur</i> L.) в полезащитных лесных полосах Ростовской области (на примере Кашарского района)	53
Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Шабанова А. И. Содержание и баланс запасных питательных веществ в тканях побегов различных сортов гортензии в Нижнем Новгороде	63
Рунова Е. М., Павшок А. В. Оценка состояния клена ясенелистного (<i>Acer negundo</i> L.) инструментальными методами	75
Данчева А. В., Фомина О. А., Касторнова А. В., Залесов С. В. Оценка состояния сосновых насаждений в условиях городской среды г. Далата Республики Вьетнам	86
Зарубина Л. В., Платонова Ю. А., Зайцева В. А. Специфика зарастания сельскохозяйственных угодий древесной растительностью в Вологодской области	98
Жижин С. М., Магасумова А. Г., Оплетев А. С., Чынгожоев Н. М., Кубатбеков Н. Б., Залесов С. В. Эффективность выращивания древесины на заброшенных сельскохозяйственных угодьях	108
Петрова И. В., Плюха Н. И., Усольцев В. А., Лебедев В. А., Иванова Н. С., Демин А. Д., Зорина А. А. Надземная биомасса и ее аллометрические модели для основного и нижнего ярусов лесоболотной системы на Среднем Урале	118
Примаков Н. В., Акимова А. А., Семенова С. Н. Оценка состояния объектов озеленения г. Тихорецка	135
Носоновских К. В., Газеев М. В., Свиридов А. В., Маслак Р. М. Исследование влияния аэроионизации на отверждение клея при склеивании массивной древесины	142
Артёмов А. В., Бурындин В. Г., Еришова А. С., Шкуро А. Е., Пазникова С. Н. Квантово-химические исследования структуры и свойств фрагментов лигнина Н-типа с различными заместителями	148
Дворянкин Д. Ю., Клепалова И. А., Первова И. Г. Сорбционное извлечение ионов Cu(II) модифицированными опилками в динамических условиях	163
Тухбатулин М. Н., Шкуро А. Е., Якубова Т. В. Применение лауретсульфата натрия в огнезащитных пропиточных составах для древесины	173
Кондюрин С. Д., Яцун И. В., Чекасин М. С., Одинцева С. А. Оптимизация теплофизических характеристик плитного древесно-торфяного композита и исследование его микроструктуры	182
Лукаш А. А., Щепочкин С. В., Швачко С. Н., Романов В. А., Чернышев О. Н., Горбатенко К. Д. Условия получения композиционных материалов с волнистой внутренней структурой из лущеного шпона	192
Стратонов Д. Д., Фомин В. В. Фактическое и прогнозируемое изменение климата в Уральском федеральном округе во второй половине XX – первой половине XXI вв.	198

Content

Yeritsov A. M., Kuksin G. V., Sekerin I. M., Zalesov S. V. The need to develop international experience in forest fire protection field	5
Druzhinin F. N., Smirnov V. V. Inventory and quality of forest reproduction work in the Baltic-Belozersky taiga region of the taiga zone	13
Popov A. G., Semenyuk V. V., Koptev S. V., Tretyakov S. V. Food and medicinal potential of lingonberry (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.) of the Arkhangelsk region	24
Markovskaya A. N., Bunkova N. P., Zalesov S. V. Forest understory species diversity in the forest park named after Russian Foresters and ways of its enrichment	31
Kulagina L. S., Kulagin A. A. The genus <i>Populus</i> L. as a key component of the phytoremediation potential of urban ecosystems: resistance mechanisms and adaptive strategies	40
Puzankov A. A., Khamitov R. S., Khamitova S. M. Growth course and age dynamics of the pedunculate oak (<i>Quercus robur</i> L.) in the field-protecting forest belts of the Rostov region (on the example of Kasharsky district)	54
Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Shabanova A. I. Content and balance of reserve substances in the shoot tissues of different hydrangea varieties in Nizhny Novgorod	64
Runova E. M., Pavshok A. V. Assessment of the condition of ash-leaved maple (<i>Acer negundo</i> L.) using instrumental methods	76
Dancheva A. V., Fomina O. A., Kastornova A. V., Zalesov S. V. Assessment of the state of pine plantations in the urban environment of Dalat, Republic of Vietnam	87
Zarubina L. V., Platonova Yu. A., Zaitseva V. A. Specific features of agricultural land overgrowing with woody vegetation in the Vologda region	99
Zhizhin S. M., Magasumova A. G., Opletaev A. S., Chyngozhoev N. M., Kubatbekov N. B., Zalesov S. V. Efficiency of wood growing on abandoned agricultural land	109
Petrova I. V., Plukha N. I., Usoltsev V. A., Lebedev V. A., Ivanova N. S., Demin A. D., Zorina A. A. Aboveground biomass and its allometric models for the main and under storeys of the forest-swamp system in the Middle Urals	119
Primakov N. V., Akimova A. A., Semenova S. N. Assessment of landscape gardening facilities condition in the town of Tikhoretsk	136
Nosonovskikh K. V., Gazeev M. V., Sviridov A. V., Maslak R. M. Investigation of the influence of aeroionization on adhesive curing when gluing solid wood	143
Artyomov A. V., Buryndin V. G., Ershova A. S., Shkuro A. E., Paznikova S. N. Quantum-chemical studies of the structure and properties of H-type lignin fragments with various types of substituents	149
Dvoryankin D. Yu., Klepalova I. A., Pervova I. G. Sorption extraction of Cu(II) ions by modified sawdust under dynamic conditions	164
Tukhbatulin M. N., Shkuro A. E., Yakubova T. V. Application of sodium laureth sulfate in fire retardant impregnation composition for wood	174
Kondyurin S. D., Yatsun I. V., Chekasin M. S., Odintseva S. A. Optimization of thermophysical characteristics of wood-peat composite board and research of its microstructure	183
Lukash A. A., Shchepochkin S. V., Shvachko S. N., Romanov V. A., Chernyshev O. N., Gorbatenko K. D. Conditions for producing composite materials with a wavy internal structure from rotary-cut veneer	193
Stratonov D. D., Fomin V. V. Actual and projected climate change in the Ural federal district in the second half of the 20th – first half of the 21st centuries	199

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 4–11.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 4–11.

Научная статья

УДК 630.432(100)

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.001

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗВИТИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ

Андрей Маркелович Ерицов¹, Григорий Валерьевич Куксин²,
Илья Михайлович Секерин³, Сергей Вениаминович Залесов⁴

¹ Авиалесоохрана, Московская область, Пушкино, Россия

² Центр профилактики ландшафтных пожаров, Москва, Россия

^{3,4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ aeritsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2756-5349>

² kuksingv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6884-0382>

³ secerinim@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3493-4322>

⁴ zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

Аннотация. С учетом меняющегося климата, повышения потенциальной опасности и, как следствие этого, рисков негативных последствий и угроз для здоровья и жизни населения рассмотрены принципы международного сотрудничества по вопросам охраны лесов от пожаров. Отмечается, что, помимо антропогенных причин, увеличивается доля лесных пожаров от молний из-за возрастания грозовой активности и продолжительности засух. Эффективная охрана от природных пожаров может быть обеспечена только при условии международного сотрудничества, и такая работа ведется по программам созданного при ООН Глобального центра по борьбе с природными пожарами (Global Fire Management Hub). Согласно анализу природных пожаров, в различных регионах планеты акцент при охране лесов был смещен с тушения пожаров на их предотвращение и поддержание рационального использования огня в устойчивом управлении природными территориями. Охрана лесов от пожаров в условиях изменения климата становится основополагающей частью стратегии будущего перехода к адаптивно-ориентированному лесному хозяйству, направленному на сокращение гибели и повреждения лесов, а также уменьшение объема эмиссий диоксида углерода.

Ключевые слова: лесной пожар, горимость, международное сотрудничество, охрана лесов

Для цитирования: Необходимость развития международного опыта в области охраны лесов от пожаров / А. М. Ерицов, Г. В. Куксин, И. М. Секерин, С. В. Залесов // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 4–11.

Original article

THE NEED TO DEVELOP INTERNATIONAL EXPERIENCE IN FOREST FIRE PROTECTION FIELD

Andrey M. Yeritsov¹, Grigory V. Kuksin², Ilya M. Sekerin³,
Sergey V. Zalesov⁴

¹ Avialesookhrana, Moscow Region, Pushkino, Russia

² Center for Landscape Fire Prevention, Moscow, Russia

^{3,4} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ aeritsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2756-5349>

² kuksingv@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6884-0382>

³ secerinim@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3493-4322>

⁴ zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

Abstract. Taking into account the changing climate, increasing potential hazards and, consequently, the risks of negative consequences and threats to human health and life, issues of international cooperation in forest fire protection are considered. It is noted that, in addition to anthropogenic causes, the proportion of forest fires caused by lightning is increasing due to increased thunderstorm activity and longer droughts. Effective wildfire protection can only be ensured through international cooperation, and such work is being conducted through programs of the UN Global Fire Management Hub. According to an analysis of wildfires, in various regions of the world, the emphasis in forest protection has shifted from fire suppression to fire prevention and preparedness, as well as supporting the rational use of fire in the sustainable management of natural areas. Forest fire protection in the context of climate change is becoming a fundamental part of the strategy for the future transition to adaptive forestry, aimed at reducing forest loss and damage, as well as reducing carbon dioxide emissions.

Keywords: forest fire, fire frequency, international cooperation, forest protection

For citation: The need to develop international experience in forest fire protection field / A. M. Yeritsov, G. V. Kuksin, I. M. Sekerin, S. V. Zalesov // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 4–11.

Введение

Бореальные леса России выполняют важную экологическую функцию на региональном и глобальном уровне. Площадь лесов России составляет более 800 млн га, или около 20 % от всех лесов мира, являясь надежным хранилищем огромного количества углерода. Существующие экосистемы в бореальных лесах формировались в течение многих тысячелетий и при этом многократно подвергались воздействию лесных пожаров (Залесов, 2021; Залесов и др., 2022; Авиалесоохрана, 2026).

Катастрофические всплески лесных пожаров возникали обычно с периодичностью 20–50 лет. В последние годы из-за изменения климата увеличились как продолжительность пожароопасных

сезонов, так и территории, где ранее не возникали природные пожары или их количество было ограничено (Секерин и др., 2022; Фактическая горимость..., 2022; Анализ горимости..., 2023; Особенности..., 2023; Оценка..., 2024; Анализ горимости..., 2025; Анализ фактической горимости..., 2025). Доминирующие низовые лесные пожары стали развиваться в верховые и торфяные (Специфика..., 2022; Опыт..., 2022). Резко возросло количество лесных пожаров от грозových разрядов (Иванов, 1996; Иванов и др., 2004; Иванов, Иванова, 2010). Тенденция увеличения фактической горимости лесов и в целом ландшафтных пожаров в связи с изменениями климата наблюдается во всем мире. Указанное вызывает необходимость

более внимательного отношения к проблеме лесных пожаров и минимизации их негативных последствий, а также объединения усилий научных работников и практиков всех стран в решении указанной проблемы.

Цель и методика исследования

Цель исследований – анализ проблемы природных пожаров на региональном и международном уровнях и разработка на этой основе предложений по снижению горимости.

На основании литературных и ведомственных материалов по совместному изучению проблемы природных пожаров предпринята попытка обобщения международного опыта установления причин пожаров и снижения показателей фактической горимости.

По данным сельскохозяйственной и продовольственной программы ФАО / ООН в период с 2003 по 2012 г. ежегодная площадь лесных пожаров составила в среднем около 67 млн га (Продовольственная и сельскохозяйственная организация, 2026). Роль природных пожаров, по мнению ФАО, в мировой практике неоднозначна. Природные пожары в некоторых экосистемах необходимы для поддержания их динамики, биоразнообразия и повышения продуктивности. Пожар также является важным и широко используемым инструментом для достижения целей управления земельными ресурсами. Однако ежегодно природные пожары уничтожают миллионы гектаров лесных массивов и другой растительности, приводя иногда к человеческим жертвам, гибели животных и огромному экономическому ущербу (Кректун, Залесов, 2017) как с точки зрения уничтоженных ресурсов, так и затрат на тушение. Это также оказывает воздействие на общество и окружающую среду: например, вред здоровью людей от дыма, потеря биологического разнообразия, выброс парниковых газов, ущерб рекреационным ценностям и объектам экономики. Только в отдаленных районах Канады и Российской Федерации молния является основной причиной пожаров (Авиалесоохрана, 2026).

Для предотвращения лесных пожаров необходимо совершенствовать механизмы управления природными территориями (Ерицов и др., 2025).

В результате оценки масштабов лесных пожаров, проведенной в 2011 г., был сделан вывод, что основными факторами, способствующими возникновению этих пожаров, являются засуха, накопление горючих материалов и однородные или подверженные пожарам территории, которые часто вызваны отсутствием надлежащего ведения лесного хозяйства, освоения и управления природными территориями. Для совершенствования управления природными территориями местное население должно быть широко осведомлено и вовлечено в эти процессы с помощью подходов, основанных на широком участии и/или на уровне общин, поскольку они часто являются основными участниками мероприятий по управлению ландшафтами и непосредственно страдают от пожаров (FAO Strategy..., 2026).

Результаты и их обсуждение

С целью обмена опытом на международном уровне и объединения усилий партнеров по укреплению потенциала стран в области комплексного управления природными пожарами в 2023 г. Продовольственной и сельскохозяйственной программой ООН (ФАО) и Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) был создан Глобальный центр по борьбе с природными пожарами (Global Fire Management Hub). Этот комплексный подход смещает акцент с тушения пожаров на их предотвращение, а также поддерживает рациональное использование огня в устойчивом управлении природными территориями. Это платформа для совместной работы на международном уровне, объединяющая сеть международных партнеров и заинтересованных сторон с целью снижения экономического ущерба и негативного воздействия лесных пожаров на окружающую среду. Глобальным центром по борьбе с природными пожарами ФАО (Fire Hub) в период 10–12 июня 2025 г. была организована первая международная пленарная сессия по управлению природными пожарами с участием более 600 представителей из 85 стран, где также был представлен опыт охраны лесов от пожаров в России на примере Ханты-Мансийского автономного округа.

По результатам трехдневной работы участниками конференции была принята следующая резолюция.

Интегрированное управление природными пожарами – целостная структура, которая связывает обзор и анализ со снижением рисков (предотвращением), обеспечением готовности, реагированием и восстановлением, что имеет жизненно важное значение, и расширением за счет скоординированных национальных, региональных и глобальных усилий.

На местном уровне коренные народы, сельские общины и местные пожарные бригады играют центральную роль в эффективном пожароуправлении. Их практический опыт и культурные знания должны определять стратегии и политику интегрированного управления пожарами на своем уровне.

Будущие механизмы комплексного пожароуправления должны уделять приоритетное внимание трансграничному мониторингу задымления от природных пожаров и целенаправленной политике здравоохранения, чтобы в полной мере учитывать многомерные риски, связанные с пожарами, и защищать уязвимые группы населения и экосистемы. Для снижения специфического воздействия дыма от лесных пожаров на здоровье срочно необходимы комплексные межсекторальные стратегии, включающие системы раннего предупреждения, координацию, мероприятия на уровне общин и долгосрочные политические меры. Необходимы более значительные инвестиции в согласованные долгосрочные данные о составе атмосферы и состоянии здоровья для поддержки краткосрочных и долгосрочных оценок.

Послепожарное лесовосстановление должно быть включено в комплексное пожароуправление в качестве активной и превентивной инвестиции в повышение устойчивости экосистем и снижение рисков. Долгосрочные обязательства, комплексное финансирование и инклюзивное управление необходимы для того, чтобы восстановление стало ключевым элементом борьбы с природными пожарами во всем мире.

Страны и сектора экономики должны иметь свободный доступ к знаниям о природных пожарах и быть осведомлены о них. Обмен данными и установление связей между научными исследованиями и традиционными знаниями имеет огром-

ное значение. Информационные платформы для обмена знаниями, такие как Глобальный центр по борьбе с природными пожарами ФАО (Fire Hub), должны способствовать такому обмену информацией.

Эффективные системы раннего предупреждения строятся на основе передовых технологий с интегрированными данными о пожарах, климате и окружающей среде. Масштабирование инструментов раннего предупреждения, ориентированных на конкретные условия, укрепит потенциал комплексного пожароуправления по предотвращению и смягчению последствий различных видов стихийных бедствий во всем мире. Раннее предупреждение должно быть увязано с четкими ролями руководства и отображать, каким образом информация поступает к пользователям на всех этапах цикла управления (тушения) пожарами – до, во время и после ликвидации.

Расширение региональных противопожарных межведомственных центров, интеграция инновационных технологий и совершенствование принятия управленческих решений имеют важное значение для продвижения комплексного пожароуправления в различных экологических и культурных ландшафтах.

Важно объединить традиционные методы борьбы с пожарами с помощью инструментов искусственного интеллекта. Приоритизация оперативного доступа и возможностей для регионов с ограниченными ресурсами гарантирует, что научные достижения приведут к осязаемым улучшениям в предотвращении пожаров, их своевременному обнаружению и ликвидации последствий.

Преодоление правовых и институциональных барьеров может раскрыть потенциал знаний коренных народов в области биоразнообразия и устойчивости к изменению климата. В различных странах – от Колумбии и Филиппин до Канады и Австралии – наблюдается растущее сближение в оценке и интеграции знаний коренных народов о пожарах в деятельность по борьбе с пожарами под руководством уполномоченных органов власти. Управление пожарной безопасностью должно основываться на правах, лидерстве и активном участии коренных народов, их знания и практика

необходимы для устранения существующих проблем в управлении пожарами.

Создание совместимых систем управления пожарами повысит скорость, эффективность и результативность усилий по борьбе с пожарами в разных юрисдикциях по всему миру. Глобальный центр по борьбе с природными пожарами ФАО (Fire Hub) предоставляет странам, системе ООН и многосторонним межправительственным организациям своевременную возможность создать платформу для скоординированного международного диалога и согласования соответствующих усилий.

Во всем мире существует потребность в развитии потенциала в области управления природными пожарами на всех уровнях. Участники конференции отметили необходимость в индивидуальном обучении лиц, принимающих решения в пожароуправлении, институциональной поддержке, инвестициях в инфраструктуру по борьбе с пожарами и расширении возможностей для интеграции и использования науки, технологий и инноваций, особенно в регионах с ограниченными ресурсами.

Комплексное пожароуправление требует диверсифицированного, смешанного финансирования, а для привлечения инвестиций необходимы партнерство между государственным и частным секторами экономики и инструменты распределения рисков, такие как гарантии на случай потерь и убытков, для обеспечения устойчивости к лесным пожарам и привлечения страховщиков и частного капитала. Благотворительность и углеродное финансирование могут расширить масштабы моделей, основанных на участии местных сообществ, особенно местных подходов к борьбе с пожарами, за счет обеспечения долгосрочных решений на местном уровне.

Партнерские отношения, принятые на пленарном заседании, должны перейти в конкретные действия. Мероприятие придало импульс межсекторальному сотрудничеству (между уполномоченными органами государств в области охраны лесов от пожаров, исследователями, коренными народами и практиками), которое теперь необходимо использовать для согласования стратегий на нескольких уровнях, мобилизации ресурсов и внедрения комплексного пожароуправления на местах.

Выводы

В России создана многоуровневая система охраны лесов от пожаров, предусматривающая разделение полномочий между уполномоченными органами власти в области лесных отношений субъектов Российской Федерации и другими ведомствами, на которых возложена охрана лесов от пожаров на соответствующих лесных территориях, находящихся в их ведении. Ключевая роль в обнаружении и тушении лесных пожаров на землях лесного фонда и диспетчеризация возложена на региональные власти субъектов Российской Федерации.

Лесопользователи отвечают за меры по предотвращению лесных пожаров на арендованных территориях. Силы и средства Рослесхоза (Авиалесоохрана, 2026) выполняют взрывные работы с целью локализации и ликвидации лесных пожаров, экстренно реагируют на тушение лесных пожаров, а также искусственно вызывают осадки, однако процедуры их привлечения по определенным критериям и принятию решений на федеральном штабе по координации сил и средств на федеральном уровне занимают до трех и более суток, что снижает оперативность своевременного принятия мер по оказанию помощи в тушении лесных пожаров и предупреждению чрезвычайных ситуаций в связи с лесными пожарами (Ерицов и др., 2023).

Охрана лесов от пожаров в условиях изменения климата становится основополагающей частью стратегии будущего перехода к адаптивно-ориентированному лесному хозяйству, направленной на сокращение гибели и повреждения лесов, а также сокращение объема эмиссий диоксида углерода. Важно, чтобы стратегическое планирование системы охраны лесов от пожаров строилось на научном обосновании. В этой сфере значительную пользу может принести международное сотрудничество.

В Ханты-Мансийском автономном округе тушение лесных и ландшафтных пожаров возложено на единое учреждение БУ «База авиационной и наземной охраны лесов», что позволяет оперативно тушить не только лесные, но и все ландшафтные пожары и предотвратить переход пожаров в леса и на населенные пункты (База..., 2026).

Список источников

- Авиалесоохрана : [сайт]. URL: <https://aviales.ru/> (дата обращения: 20.03.2026).
- Анализ горимости лесов Забайкальского края за 2022–2024 годы / *И. М. Секерин, А. М. Ерицов, Г. В. Куксин* [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 3. URL: <https://research-journal.org/media/articles/17462.pdf> (дата обращения: 20.03.2026) DOI: 10.60797/IRJ.2025.153.127
- Анализ горимости лесов на территории Уральского федерального округа / *Л. Е. Кузнецов, С. В. Залесов, А. А. Кректунов* [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11 (137). URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43> (дата обращения: 20.03.2026). DOI: 10.23670/IRJ.2023.137.43
- Анализ фактической горимости лесов по федеральным округам Российской Федерации и пути ее минимизации / *Г. В. Куксин, И. М. Секерин, А. М. Ерицов* [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 3. С. 67–75. DOI: 10.53374/1993-0135-2025-3-67-75
- База авиационной и наземной охраны лесов : [сайт]. URL: <https://aviales86.ru/> (дата обращения: 20.03.2026).
- Ерицов А. М., Безденежных И. В., Залесов С. В.* Необходимость координации усилий по совершенствованию охраны лесов от пожаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 22–33. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.22-33
- Ерицов А. М., Секерин И. М., Кректунов А. А.* О необходимости совершенствования нормативно-правового регулирования в области охраны лесов от пожаров // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2023. № 3 (72). С. 79–86.
- Залесов С. В.* Лесная пирология. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2021. 396 с.
- Залесов С. В., Платонов Е. П., Платонов Е. Ю.* Пожары и их последствия в Западной Сибири. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 191 с.
- Иванов В. А.* Механизм возникновения лесного пожара от молний // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 103–107.
- Иванов В. А., Иванова Г. А.* Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск : Наука, 2010. № 6. С. 6–16.
- Иванов В. А., Коришунов Н. А., Матвеев П. М.* Пожары от молний в лесах Красноярского Приангарья. Красноярск, 2004. 132 с.
- Кректунов А. А., Залесов С. В.* Охрана населенных пунктов от природных пожаров. Екатеринбург : Урал. ин-т ГПС МЧС России, 2017. 162 с.
- Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале / *И. М. Секерин, А. М. Ерицов, А. А. Кректунов* [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 5 (199). Ч. 2. С. 81–85. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.5.014
- Особенности пожароопасного сезона 2022 года в Курганской области / *А. М. Ерицов, И. М. Секерин, А. А. Кректунов* [и др.] // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2023. Т. 27, № 4. С. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80
- Оценка горимости лесов Российской Федерации / *Л. Е. Кузнецов, А. М. Ерицов, И. М. Секерин* [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 93–101. DOI: 10.51318/FRET.2024.31.73.008
- Продовольственная и сельскохозяйственная организация : [сайт]. URL: <https://www.fao.org/forestry/firemanagement/background/en> (дата обращения: 20.03.2026).
- Секерин И. М., Ерицов А. М., Залесов С. В.* Анализ фактической горимости лесов Уральского федерального округа и пути ее снижения // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1 (115). Ч. 1. С. 129–133. DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.026
- Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период / *И. М. Секерин, Г. А. Годовалов, А. М. Ерицов* [и др.] // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 5. С. 64–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70

Фактическая горимость лесов по зонам охраны на примере Уральского федерального округа / А. М. Ерицов, С. В. Залесов, А. Е. Морозов [и др.] // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2022. № 2 (67). С. 146–153. DOI: 10.34655/bgsha.2022.67.2.019

FAO Strategy on Forest Fire Management. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/db2fcab3-7369-4e4a-9f10-d81530fe32c6/content> (дата обращения: 20.03.2026).

References

- Analysis of forest burning in the territory of the Ural Federal District districts / L. E. Kuznetsov, S. V. Zalesov, A. A. Krektunov [et al.] // International Scientific Research Journal. 2023. № 11 (137). URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.43> (accessed 20.03.2026). DOI: 10.23670/IRJ.2023.137.43 (In Russ.)
- Analysis of forest burning in the Trans-Baikal Territory for 2022–2024 / I. M. Sekerin, A. M. Yeritsov, G. V. Kuksin [et al.] // International Scientific Research Journal. 2025. № 3. URL: <https://research-journal.org/media/articles/17462.pdf> (accessed 20.03.2026). DOI: 10.60797/IRJ.2025.153.127 (In Russ.)
- Analysis of the actual burning of forests in the federal districts of the Russian Federation and ways to minimize it / G. V. Kuksin, I. M. Sekerin, A. M. Yeritsov [et al.] // Conifers of the boreal zone. 2025. Vol. XLIII, № 3. P. 67–75. DOI: 10.53374/1993-0135-2025-3-67-75 (In Russ.)
- Assessment of forests burnability in the Russian Federation / L. E. Kuznetsov, A. M. Yeritsov, I. M. Sekerin [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 93–101. DOI: 10.51318/FRET.2024.31.73.008 (In Russ.)
- Avialesookhrana : [website]. URL: <https://aviales.ru/> (accessed 20.03.2026).
- Base of aviation and ground protection of forests : [website]. URL: <https://aviales86.ru/> (accessed 20.03.2026).
- Experience in extinguishing peat fires in the Middle Urals / I. M. Serikin, A. M. Yeritsov, A. A. Krektunov [et al.] // International Scientific Research Journal. 2022. № 5 (199). Part 2. P. 81–85. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.5.014 (In Russ.)
- FAO Strategy on Forest Fire Management: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/db2fcab3-7369-4e4a-9f10-d81530fe32c6/content> (accessed 20.03.2026).
- Features of the 2022 fire season in the Kurgan region / A. M. Yeritsov, I. M. Sekerin, A. A. Krektunov [et al.] // Forestry Bulletin. 2023. Vol. 27. № 4. P. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80 (In Russ.)
- Food and agricultural organization : [website]. URL: <https://www.fao.org/forestry/firemanagement/background/en> (accessed 20.03.2026).
- Ivanov V. A. The mechanism of forest fire from lightning // Siberian Ecological Journal. 1996. № 1. P. 103–107. (In Russ.)
- Ivanov V. A., Ivanova G. A. Fires from thunderstorms in the forests of Siberia. Novosibirsk : Science Publ., 2010. № 6. P. 6–16. (In Russ.)
- Ivanov V. A., Korshunov N. A., Matveev P. M. Lightning fires in the forests of the Krasnoyarsk Angara region. Krasnoyarsk, 2004. 132 p.
- Krektunov A. A., Zalesov S. V. Protection of settlements from wildfires. Yekaterinburg : Ural institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia. 2017. 162 p.
- Sekerin I. M., Yeritsov A. M., Zalesov S. V. Analysis of the actual burning rate of forests in the Ural Federal District and ways to reduce it // International Scientific Research Journal. 2022. № 1 (115). Part 1. P. 129–133. DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.026 (In Russ.)
- The actual burning of forests by protection zones using the example of Ural Federal District / A. M. Yeritsov, S. V. Zalesov, A. E. Morozov [et al.] // Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov. 2022. № 2 (67). P. 146–153. DOI: 10.34655/bgsha.2022.67.2.019 (In Russ.)

- The specifics of the spread and extinguishing of peat fires in winter / *I. M. Sekerin, G. A. Godovalov, A. M. Yeritsov* [et al.] // *Forest Bulletin*. 2022. Vol. 26, № 5. P. 64–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70 (In Russ.)
- Yeritsov A. M., Bezdenzhnykh I. V., Zalesov S. V.* The need to coordinate efforts to improve forest protection from fires // *News St. Petersburg Forestry Academy*. 2025. Issue 253. P. 22–33. DOI: 1021266/2079-4304.2025.253.22-33 (In Russ.)
- Yeritsov A. M., Sekerin I. M., Krektunov A. A.* On the need to improve regulatory and legal regulation in the field of forest fire protection // *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov*. 2023. № 3 (72). P. 79–86. (In Russ.)
- Zalesov S. V.* Forest pyrology. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2021. 396 p.
- Zalesov S. V., Platonov E. P., Platonov E. Yu.* Fires and their consequences in Western Siberia. Yekaterinburg : USFEU, 2022. 191 p.

Информация об авторах

- А. М. Ерицов* – кандидат сельскохозяйственных наук;
- Г. В. Куксин* – кандидат сельскохозяйственных наук;
- И. М. Секерин* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
- С. В. Залесов* – доктор сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

- A. M. Yeritsov* – Candidate of Agricultural Sciences;
- G. V. Kuksin* – Candidate of Agricultural Sciences;
- I. M. Sekerin* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
- S. V. Zalesov* – Doctor of Agricultural Sciences.

Статья поступила в редакцию 09.04.2026; принята к публикации 16.06.2026.

The article was submitted 09.04.2026; accepted for publication 16.06.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 12–22.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 12–22.

Научная статья

УДК 630*23

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.002

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ И КАЧЕСТВО РАБОТ ПО ВОСПРОИЗВОДСТВУ ЛЕСОВ В БАЛТИЙСКО-БЕЛОЗЕРСКОМ ТАЕЖНОМ РАЙОНЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

Федор Николаевич Дружинин¹, Виктор Владимирович Смирнов²

¹ Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия,
Вологда, Россия

² Центр лесных инноваций, Бабаево, Россия

¹ drujinin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4645-4270>

² 79210540672@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрено формирование фонда лесовосстановления в арендной базе лесозаготовительного предприятия, проанализированы объемы работ по воспроизводству лесов за ревизионный период. Объемы производства лесных культур составляют 14 % от площадей сплошных рубок, по содействию естественному лесовосстановлению – 50 %. В покрытую лесом площадь по хвойному хозяйству переводится не более 74 % площадей, а по лиственному – 26 %. Цель исследования – количественная и качественная оценка работ по воспроизводству лесов при переводе насаждений в земли, на которых расположены леса. В основу полевых изысканий положены адаптированные для исследования методики, применяемые в лесоведении, лесной таксации и математической статистике. Исследование выполнено на 29 лесосеках с различной давностью завершения лесосечных работ (2008–2010, 2013–2015 гг.). Учетные работы выполнялись на 1-й, 3-й, 5-й годы выращивания и при переводе в покрытую лесом площадь. Приживаемость лесных культур первого года выращивания находилась в пределах 57–78 %. После выполнения дополнений на третий год выращивания сохранность культур ели не превышала 68 %. Формирующиеся составы лесных насаждений представлены в доминирующем большинстве лиственными древесными породами с долевым участием от семи до девяти единиц. Долевое участие хвойных хозяйственно-ценных пород не превышает трех единиц, а растений искусственного происхождения – не более двух единиц. Для повышения эффективности мероприятий по воспроизводству лесов требуется интенсификация мер посредством одновременного сочетания на одной и той же площади нескольких способов лесовосстановления. Особое внимание при лесокультурном производстве необходимо обращать на качество подготовки почвы и посадочный материал.

Ключевые слова: лесосечный фонд, фонд лесовосстановления, воспроизводство лесов, искусственное лесовосстановление, количественные и качественные показатели, инвентаризация лесных культур, перевод в покрытую лесом площадь

Для цитирования: Дружинин Ф. Н., Смирнов В. В. Инвентаризация и качество работ по воспроизводству лесов в Балтийско-Белозерском таежном районе таежной зоны // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 12–22.

Original article

INVENTORY AND QUALITY OF FOREST REPRODUCTION WORK IN THE BALTIC-BELOZERSKY TAIGA REGION OF THE TAIGA ZONE

Fedor N. Druzhinin¹, Viktor V. Smirnov²

¹ Vologda State Agricultural Academy, Vologda, Russia

² Forest Innovation Center, Babayevo, Russia

¹ drujinin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4645-4270>

² 79210540672@yandex.ru

Abstract. The paper discusses the formation of a reforestation fund in the rental base of a logging enterprise and analyzes the volume of work on forest reproduction during the review period. The volume of forest crops production is 14 % of the area of clear-cutting, and the volume of work on promoting natural reforestation is 50 %. No more than 74 % of the area in coniferous forests is converted into forested areas, and no more than 26 % of the area in deciduous forests. The purpose of the research is to provide a quantitative and qualitative assessment of the work carried out to reproduce forests when plantations are transferred to land on which forests are located. The research is based on adapted methods used in forestry, forest taxation, and mathematical statistics. The research was conducted on 29 wood cutting area with varying lengths of time since the logging operations were completed (2008–2010, 2013–2015). The accounting was carried out in the 1st, 3rd, and 5th years of growing, as well as during the conversion to forested areas. The survival rate of the first-year forest crops ranged from 57 to 78 %. After the additions were made in the third year of growing, the survival rate of the spruce crops did not exceed 68 %. The emerging compositions of forest plantations are represented, in the dominant majority, by deciduous tree species with a share of 7 to 9 units. The share of coniferous economically valuable species does not exceed 3 units, and the share of plants of artificial origin does not exceed 2 units. To increase the effectiveness of forest reproduction measures, it is necessary to intensify them by simultaneously combining several methods of reforestation on the same area. Special attention should be paid to the quality of soil preparation and planting material during forestry production.

Keywords: forest cutting fund, reforestation fund, forest reproduction, artificial reforestation, quantitative and qualitative indicators, forest crop inventory, conversion to forested area

For citation: Druzhinin F. N., Smirnov V. V. Inventory and quality of forest reproduction work of the Baltic-Belozersky taiga region of the taiga zone // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 12–22.

Введение

Ведущим, наиболее массовым видом сырьевых ресурсов в лесах является древесина – незаменимое сырье для многих отраслей народного хозяйства. Общий объем, допустимый для заготовки древесины при всех видах рубок, составляет более 200 млн м³ ликвидной древесины. Основным ее источником (90 %) являются спелые и перестойные насаждения в эксплуатационных лесах, где расчетная лесосека составляет 89,4 млн м³ ликвидной древесины. В настоящее время заготовку древесины в Вологодской обла-

сти ведут 352 арендатора по 461 договору аренды с суммарным размером ежегодного разрешенного изъятия древесины 24,7 млн м³ ликвидной древесины (Об утверждении лесного плана..., 2018). Проекты лесоустройства при этом рекомендуют следующую структуру лесовосстановительных мероприятий при 100 % использовании расчетной лесосеки:

- 13 % – создание лесных культур;
- 53 % – содействие естественному возобновлению;
- 34 % – естественное заращивание.

Методы восстановления лесов напрямую зависят от условий местопроизрастания (Инструкция..., 1994; Методические рекомендации..., 2010). Около 70 % территорий лесного фонда Вологодской области занимают еловые типы леса. Наиболее представлены ельники черничные, кисличные и долгомошные. В период с 1936 по 2009 гг. основным фондом лесовосстановления, как и в других регионах таежной зоны, являлись вырубki (95 % от площади). Доля остальных земель, нуждающихся в облесении, незначительна: гарь – 3 %, погибшие насаждения и прогалины – по 1 %.

В 2006 г. в Российской Федерации вступил в силу лесной кодекс, в котором изменились многие подходы по ведению лесохозяйственной деятельности. Лесопользователи получили возможность самостоятельно планировать заготовку древесины. Вполне закономерно, что основная нагрузка пришлось на высокопроизводительные леса. В связи с этим лесовосстановление на протяжении почти двадцати лет выполняется в высокобонитетных хозяйственных секциях с оптимальными условиями для возобновления лесных участков. При этом приоритетность сохранения лесов остается неизменной (Сведения об отводах..., 2026; Установление и выполнение..., 2026). Для объективной оценки успешности воспроизводства лесов за почти двадцатилетний период выполнено комплексное исследование в арендной базе одного из старейших предприятий АО «Бабаевский леспромхоз».

Цель, объекты и методика исследования

Целью исследования являлась количественная и качественная оценка работ по воспроизводству лесов при переводе насаждений в земли, на которых расположены леса. Для решения поставленных задач использовались имеющиеся фондовые материалы и разработки, полученные при проведении НИР по данному направлению, а также результаты оценки практического выполнения мероприятий на лесных участках, представляющих типичные объекты в лесном фонде. Выполнен комплекс лесоучетных работ от момента создания лесных культур до их перевода в покрытую пло-

щадь (производственные объекты), что представляет научный интерес и отражает новизну выполненного исследования.

Лесные участки расположены в Балтийско-Белозерском таежном районе в границах Бабаевского муниципального округа Вологодской области. Рельеф в большинстве своем равнинный с небольшими уклонами. Почва чаще среднеподзолистая на моренном суглинке, в пониженных местах переувлажненная, затапливаемая весной и в период продолжительных дождей, вследствие чего фиксируются оглеенные горизонты. По составу лесные насаждения до выполнения лесосечных работ разнородны (около 70 % – это выделы хвойной (еловой) хозяйственной секции с долевым участием лиственных пород от двух до четырех единиц). По хозяйственным группам возраста – спелые и перестойные древостои (Об утверждении..., 2018). Заготовка древесины производилась в форме сплошных рубок по сортиментной технологии комплексом многооперационных машин (харвестер и форвардер).

В основу полевых изысканий положены адаптированные для исследования методики, применяемые в лесоведении, лесной таксации и математической статистике. Лесовосстановительные процессы изучались с учетом нормативных документов (Инструкция..., 1994; Методические рекомендации..., 2010; Об утверждении Порядка..., 2019; Об утверждении правил..., 2021) и методических указаний (Побединский, 1966; Санникова, Локосова, 2001). Динамическая оценка выполнена на постоянных пунктах мониторинговых наблюдений в течение 8–10 лет по каждому лесному участку.

Результаты и их обсуждение

Характеристики лесных участков по восьми договорам аренды в лесном фонде на территории Бабаевского муниципального округа Вологодской области являются типичными для таежной зоны (Об утверждении лесохозяйственного регламента..., 2018). Лесные насаждения представлены небольшим разнообразием лесобразующих пород, замедленным ростом и невысокой производительностью древостоев (табл. 1). Основной причиной этого является высокая заболоченность территории.

Таблица 1

Table 1

Характеристика насаждений в арендной базе АО «Бабаевский леспромхоз»

Characteristics of plantations in the rental base of Babaevsky Lеспromkhoz JSC

Номер участка Plot number	Площадь, га Area, ha	Средние таксационные показатели Average taxation indicators					Состав насаждения Composition of the planting
		Возраст, лет Age, years	Класс бонитета Bonus class	Плотность Density	Запас насаждений, м³/га Planting stock, m³/ha		
					покрытых лесной растительностью covered with forest vegetation	спелых и перестойных ripe and overmature	
3	1523,0	48	I,3	0,70	135	216	4Б2Олс1Ос3Е 4В2Алгр1Ас3Sp
159	43661,3	92	III,6	0,65	151	181	4С2Е3Б1Ос+Олс,Олч 4Р2Sp3В1Ас+Алгр,Алб
235	30613,5	85	III,4	0,64	125	183	3Е3С3Б1Ос 3Sp3Р3В1Ас
245	72375,4	80	III,1	0,68	151	228	4Е2С3Б1Ос 4Sp2Р3В1Ас
246	7463,9	85	II,7	0,68	195	238	3Е2С4Б1Ос 3Sp2Р4В1Ас
247	28821,9	78	III,2	0,69	154	198	3С3Е3Б1Ос+Олс 3Р3Sp3В1Ас+Алгр
248	6838,1	63	I,6	0,67	179	236	4Б1Олс1Ос2Е2С 4В1Алгр1Ас2Sp2Р
249	3458,7	80	III,0	0,66	144	206	4Е2С3Б1Ос 4Sp2Р3В1Ас
Итого Total	194755,8	82	III,2	0,68	151	197	3С3Е3Б1Ос+Олс 3Р3Sp3В1Ас+Алгр

В составе древостоев доминирующее положение занимают хвойные породы (сосна, ель) с долевым их участием от трех до шести единиц. Средний возраст по хвойной хозяйственной секции не превышает 92 лет, что связано с хозяйственной деятельностью лесозаготовительного предприятия. АО «Бабаевский леспромхоз» в 2026 г. исполнится 95 лет. Средние запасы на покрытых лесом площадях не превышают 195 м³/га.

Доля лесных земель составляет более 59 %, что характеризует эту территорию как высоколесистую. Покрытая лесом площадь более чем на 72 % представлена насаждениями естественного происхождения.

Из покрытой лесом площади на долю хвойных древостоев приходится 64 % территории, в том числе под темнохвойными формациями (ельни-

ки) – 32 %. Доля лиственных пород составляет более 34 %, среди которых распространение имеют березняки (около 26 %), представленные прежде всего черничными и кисличными типами леса. Довольно высока доля осинников (более 8 %), сосредоточенных в наиболее продуктивных лесорастительных условиях (кисличные и черничные).

Лесосечный фонд, поступающий в рубку (табл. 2), характеризовался следующими ключевыми характеристиками:

- зеленомошная группа типов условий местопроизрастания (черничные и кисличные) – 46 %;
- почвы – подзолистые, кислые с оптимальным и временно избыточным увлажнением;
- хозяйственные секции – высоко- и среднепродуктивные лесные насаждения I,3–III,6 классов бонитета;

– полнота – среднеполнотные (от 0,64–0,70);
 – производительность – запасы древесины от 181 м³/га и выше.

Средние таксационные показатели спелых и перестойных насаждений на арендуемых лесных участках подтверждают высокую производственную нагрузку. В целом же фактическая производительность ниже потенциальной на 30–40 %. При этом насаждения подвержены деградации и дигрессии, а демутационные процессы, возникающие под влиянием различных факторов, протекают долго и тяжело.

Мероприятия по лесовосстановлению при освоении лесосечного фонда слагались из необходимых мер по обеспечению естественного лесовозобновления и производству лесных культур (табл. 3). При этом основным способом являлось естественное лесовосстановление, которое обеспечивалось как сохранением жизнеспособного подроста хозяйственно-ценных хвойных пород, имеющегося под пологом спелых и перестойных древостоев, так и соблюдением организационно-технических

параметров рубок: ширины лесосеки, сроков приемыкания, способов очистки мест рубок, оставления обсеменителей, а также выполнением других мер содействия возобновлению, способствующих появлению всходов и самосева.

За анализируемый период с 2010 по 2024 гг. заготовка древесины сплошными формами рубок произведена на площади более 86 тыс. га (см. табл. 3). При этом следует отметить, что работы по воспроизводству лесов, согласно отраслевой отчетной документации, проведены и приняты по всем способам лесовосстановления на площади 75 222,4 га, а переведено в покрытую лесом площадь 60 851,1 га.

Фактически объемы работ по лесовосстановлению на 13 % ниже площадей сплошных рубок, на которых были запроектированы соответствующие мероприятия. При этом почти 20 % площадей с выполненным лесовосстановлением по тем или иным причинам не переводятся в земли, покрытые лесами в установленные нормативными документами сроки.

Таблица 2

Table 2

Распределение площади лесосечного фонда в арендной базе предприятия по типам условий местопроизрастания и преобладающим древесным породам
 Distribution of the area of the forest cutting fund in the enterprise's rental base by types of growing conditions and predominant tree species

Тип условий местопроизрастания Type of growing conditions	Площадь по преобладающим породам в составах древостоя, % Area by predominant species in the composition of the forest stand, %				
	Сосна Pine	Ель Spruce	Береза Birch	Осина Aspen	Всего Total
Черничный Blueberry	6	13	9	3	31
Кисличный Oxalis	Менее 1 Less 1	1	10	4	15
Лишайниковый Lichen	Менее 1 Less 1	–	–	–	–
Сфагновый Sphagnum	12	Менее 1 Less 1	Менее 1 Less 1	–	13
Брусничный Lingonberry	1	Менее 1 Less 1	Менее 1 Less 1	Менее 1 Less 1	1
Травяно-болотный Grass-marsh	12	6	3	–	21
Долгомошный Long-moss	7	12	1	–	19
Итого Total	38	32	23	7	100

Таблица 3
Table 3

Динамика работ по заготовке древесины и воспроизводству лесов
Dynamics of wood logging and forest restoration work

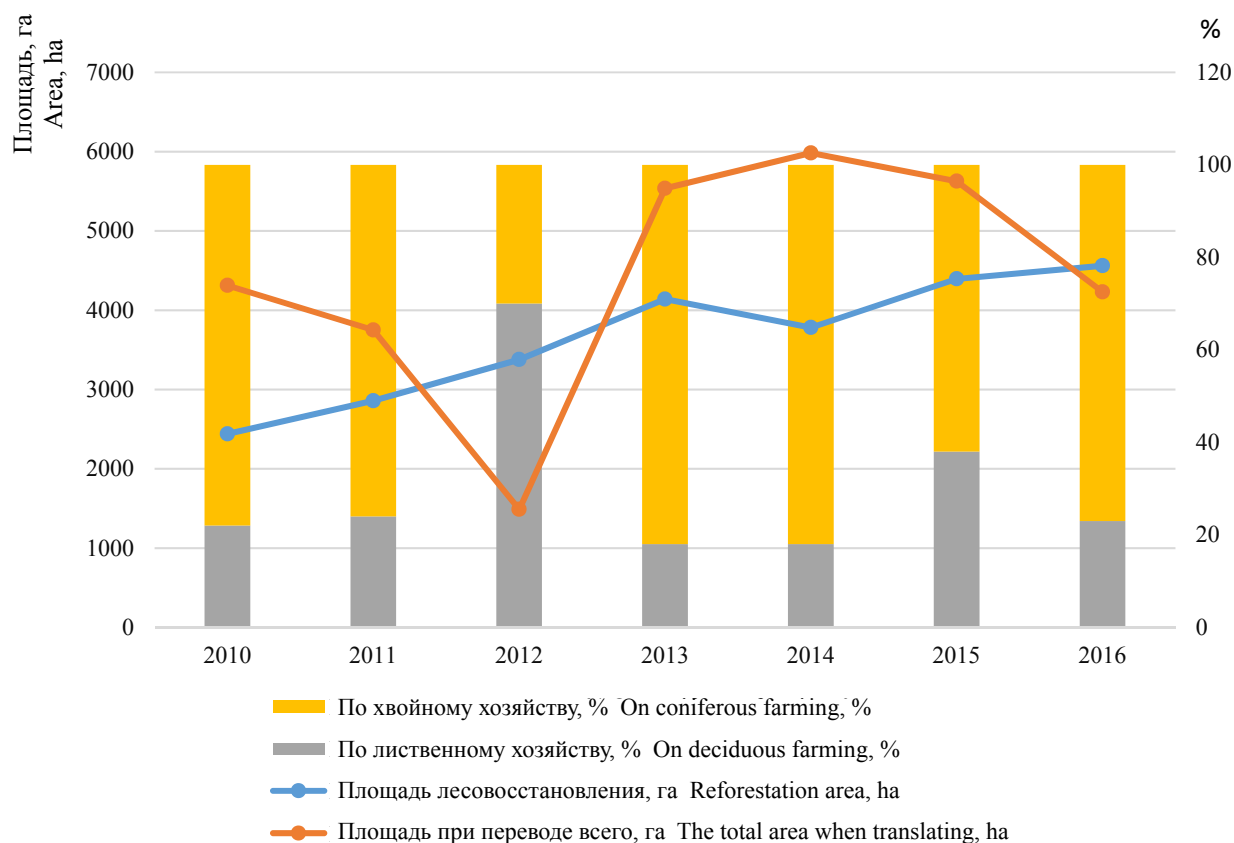
Мероприятия Measures 2010		Объемы работ по календарным годам (га) Volumes of work by calendar years (ha)														за период for the period		
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	га ha	%
Переведено в площадь лесом площадь Transferred to forested area	по хвойному хозяйству on coniferous farming	1504,3	2813,6	3231,5	3432,0	2667,6	5140,7	7545,7	3328,9	3359,8	2833,6	448,2	4520,2	4929,8	3512,6	3272,2	52540,7	61
	по лиственному хозяйству on deciduous farming	–	–	39,2	217,3	–	–	–	–	953,6	916,6	1040,1	1016,7	1053,9	2114,3	958,7	8310,4	10
	Всего Total	1504,3	2813,6	3270,7	3649,3	2667,6	5140,7	7545,7	3328,9	4313,4	3750,2	1488,3	5536,9	5983,7	5626,9	4230,9	60851,1	71
Сплошные рубки Clear-cutting	Сплошные рубки Clear-cutting	4174,1	4369,5	4550,5	5089,2	5499,7	6646,9	6655,3	6495,3	6858,1	5836,7	6667,1	5982,3	4890,5	4541,4	4738,9	82995,5	96
	Сплошные санитарные рубки Clear sanitary cutting	42,5	65,3	43,2	261,2	230,7	673,8	1024,8	385,7	239,5	242,8	–	–	–	1,0	1,3	3211,8	4
	Итого Total	4216,6	4434,8	4593,7	5350,4	5730,4	7320,7	7680,1	6881,0	7097,6	6079,5	6667,1	5982,3	4890,5	4542,4	4740,2	86207,3	100
Естественное лесовосстановление Natural reforestation	Естественное лесовосстановление Natural reforestation	1970,8	2206,7	2639,9	3431,0	3077,2	3650,5	3716,3	6179,4	6351,5	6486,5	5548,1	4828,2	3575,0	1864,7	2521,7	58047,5	67
	Искусственное лесовосстановление Artificial reforestation	365,9	456,6	460,7	365,9	347,7	404,6	491,5	671,8	528,0	732,2	649,4	713,1	695,0	605,2	676,0	8163,6	10
	Комбинированное лесовосстановление Combined reforestation	104,3	195,1	278,0	343,6	356,7	340,9	353,7	359,4	463,0	318,1	320,6	254,3	276,9	226,8	199,6	4391,0	5
Естественное зарастивание Natural overgrowth	Естественное зарастивание Natural overgrowth	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	11,5	–	3131,4	–	4620,3	5
	Всего Total	2441,0	2858,4	3378,6	4140,5	3781,6	4396,0	4561,5	7210,6	7342,5	7536,8	6518,1	5807,1	4546,9	5828,1	4874,7	75222,4	87

По состоянию на 2024 г. этот показатель составил 71 %. Объемы производства лесных культур по отношению к площади сплошных рубок составили лишь около 14 %, что ниже проектировок лесоустройства на 6 %, объемы по содействию естественному лесовосстановлению – 50 %, что ниже данных лесоустройства на 15 %. Площади сплошных форм рубок за отчетный период ежегодно превышали объемы лесовосстановления текущего года.

Все это предопределило необходимость перевода формирующихся насаждений в покрытые лесом площади без должного контроля (рисунок). По хвойному хозяйству переводится не более 74 % площадей. Доля малоценных насаждений по лиственному хозяйству в общем фонде лесовосстановления достигает 26 %. Достаточно велика доля площадей по естественному лесовосстановлению вследствие природных процессов, по сути, естественное зарастивание. Практически в должном объеме не выполняются мероприятия по уходу за формирующимися насаждениями (агротех-

нические и лесоводственные уходы). Особенно остро эта ситуация складывается на площадях с выполненными мерами по содействию естественному лесовосстановлению. Эти мероприятия не регламентированы Правилами, а соответственно, и проектами освоения лесов, что не требует от лесопользователей их обязательного выполнения.

Для объективной оценки работ по воспроизводству лесов выполнены динамические наблюдения на постоянных пунктах мониторинга и осуществлена оценка искусственного лесовосстановления на лесных участках до их перевода в покрытые лесом земли. Исследование количественного и качественного состава лесных культур выполнено на 29 лесосеках с различной давностью завершения лесосечных работ (2008–2010, 2013–2015 гг.). Инвентаризация лесных культур проводилась в Бабаевском лесничестве (Тимошинское, Ножемское, Хилецкое, Никольское, Шиглинское, Колошемское и Колпинское участковые лесничества). Лесные культуры созданы традиционным способом: нарезкой плужных борозд лесохозяйственны-



Оценка перевода не покрытых лесом земель в покрытые лесом площади
Assessment of the conversion of non-forested land into forested areas

ми тракторами, посадкой сеянцев ели с открытой корневой системой вручную под меч Колесова с густотой 3 000 шт./га и выполнением дополнений на первый и третий годы выращивания, однократных агротехнических и лесоводственных уходов.

Критериями успешности лесокультурного производства являются (Мерзленко, Бабич, 2011; Редько и др., 2016):

– на первых этапах (1–5 лет) – приживаемость и сохранность культивируемых растений (не менее 85 % от первоначальной густоты);

– на завершающем этапе – целевой состав (не менее пяти единиц хвойных пород в составе древостоев); густота (не менее 2000 шт./га целевой породы), средняя высота (не менее 0,8 м) и предельный возраст (не более 8 лет).

В рамках мониторинговых наблюдений за формируемыми насаждениями на лесных участках учетные работы выполнялись на первый, третий, пятый годы выращивания и при переводе в покрытую лесом площадь. Учету подлежали все древес-

ные породы с их разделением по происхождению (искусственное, естественное, семенное, вегетативное, комбинированное). У каждой лесобразующей древесной породы определяли жизненное состояние: физиологически здоровый, физиологически здоровый с повреждениями, сомнительный с разделением на следующие высотные градации: до 0,2 м; от 0,21 до 0,50 м; от 0,51 до 1,00 м; от 1,01 до 1,50 м, более 1,5 м (Об утверждении правил..., 2021). Результаты выполненных изысканий отражены в табл. 4.

Приживаемость лесных культур первого года выращивания находилась в пределах 57–78 %. После выполнения дополнений на третий год выращивания сохранность культур ели не превышала 68 %. При этом эффективность дополнений на третий год выращивания крайне низкая и не привела к требуемым положительным результатам. На пятый год выращивания и при переводе в покрытую лесом площадь от исходной густоты сохранилось не более 1 351 шт./га.

Таблица 4

Table 4

Количественная и качественная оценка лесных культур за период формирования
Quantitative and qualitative assessment of forest crops during the formation period

Характеристика насаждений до рубки Characteristics of plantations before cutting		Год создания лесных культур The year of creation of forest crops	Приживаемость и сохранность лесных культур, % Survival rate and preservation of forest crops, %			Количество к переводу в покрытую лесом площадь, шт./га Number to be converted to forest-covered area, pcs/ha		Состав формирующихся насаждений при переводе в покрытую лесом площадь Composition of the forming plantations when converted to forested area
Индекс типа леса Forest type index	Состав Composition		1-й год 1 year	3-й год 3 year	5-й год 5 year	лесных культур forest crops	самосев, подрост self-seeding, undergrowth	
Е _{лес-елер} Blueberry spruce forest	4Б2Ос3Е1С 4В2Ас3Sp1P	2008	62	50	37	1119±99	1024±126	3Б2Ос1Ив2Еиск1Е1Олсед.С 3В2Ас1W2Spart1Sp1Algrar.P
	5Б1Ос1Олс2Е1С 5В1Ас1Algr2Sp1P	2009	72	54	45	1351±114	796±82	4Ос2Б2Олс1Еиск1Е+С 4Ас2В2Algr1Spart1Sp+P
	4Б4Ос2Е 4В4Ас2Sp	2010	57	43	35	1050±29	653±52	5Ос3Б1Ив1Еиск+Е ед.Олс 5Ас3В1W1Spart+Sprar.Олс
	4Б2Ос4Е+С 4В2Ас4Sp+P	2013	68	57	44	1321±39	522±69	4Б3Ос2Олс1Еиск+Ив ед. Е 4В3Ас2Algr1Spart+Wrar.Sp
	6Б3Ос1Е 6В3Ас1Sp	2014	75	61	41	1241±53	516±70	6Ос3Б1Еиск+Е ед.С 6Ас3В1Spart+Sprar.P
	6Б1Ос2С1Е 6В1Ас2P1Sp	2015	78	68	49	1128±105	635±49	5Б3Ос1Ив1Еиск+Е 5В3Ас1W1Spart+Sp

При этом следует отметить, что на этих площадях за счет естественного лесообразовательного процесса (всходы и самосев ели и сосны) количество жизнеспособных экземпляров достигало 1 024 шт./га, что практически позволило обеспечить требуемое количество деревьев хозяйственно-ценных пород (не менее 2 000 шт./га) для их перевода в покрытую лесом площадь. Количество хвойных пород составило по лесным участкам от 1 757 до 2 147 шт./га.

С учетом правоприменительной практики региона лесные культуры с приживаемостью 25–85 % от первоначальной густоты подлежат дополнению. По результатам их инвентаризации (первый, третий и пятый годы выращивания) культуры должны дополнять до густоты не менее 85 % от первоначальной. В связи с этим требует внимания тот факт, что к моменту перевода насаждений в покрытую лесом площадь количество главной или главных древесных пород должно составлять не менее 2 000 шт./га, что предопределяет нецелесообразность выполнения работ при приживаемости (сохранности) растений не ниже 67 %.

Инвентаризация лесных культур при достижении ими возраста перевода в покрытые лесом земли выявила следующее: формирующиеся составы лесных насаждений представлены в доминирующем большинстве лиственными древесными породами (осиной, березой, ольхой серой и ивой). Их доленое участие в составах древостоев составляет 7–9 единиц. При этом густота формирующихся насаждений – 17 тыс. шт./га.

В целом, оценивая работы по воспроизводству лесов на постоянных пунктах мониторинговых наблюдений, следует заключить, что целевые показатели перевода насаждений в покрытую лесом площадь не достигнуты как по составу формирующихся древостоев, так и по густоте. Доленое участие хвойных хозяйственно-ценных пород не превышает трех единиц. При этом растения искусственного происхождения представлены в формирующихся составах не более чем двумя единицами.

Причинами формирования лиственной хозяйственной секции являлись, на наш взгляд, низкое качество подготовки почвы, нарушение агротех-

нических сроков при выполнении лесокультурных работ (посадка семян, дополнения) и недостаточное количество лесоводственных уходов. При переводе лесных участков в покрытую лесом площадь назначаемые уходы за молодняками слабой и умеренной интенсивности традиционным коридорным способом (не более 30 %) не способны предотвратить смену пород и дальнейшее ухудшение количественных и качественных характеристик лесных участков.

Точность выполненных измерений по рассматриваемым показателям (приживаемость, сохранность, густота) составила от 3 до 9 %, что соответствует высоким и удовлетворительным значениям этого статистического показателя. В целом точность выполненных работ удовлетворительная. Коэффициент изменчивости входит в пределы от 5 до 73 %, а в среднем – 24 %. Это свидетельствует о том, что вариабельность по оцениваемым нами показателям средняя. Достоверность средних значений более трех, а это значит, что оцениваемые показатели являются достоверными и могут использоваться для сопоставлений и выводов.

Выводы

На основании вышеизложенного успешное и эффективное лесовосстановление на Европейском Севере возможно при реализации следующих мероприятий.

1. Лесовосстановительные мероприятия должны соответствовать проводимым способам и видам рубок, типам условий местопроизрастания.

2. Требуется интенсификация мер по воспроизводству лесов за счет одновременного сочетания на одной и той же площади фонда нескольких способов лесовосстановления:

- искусственное лесовосстановление и сохранение тонкомера хвойных и лиственных древесных пород;

- искусственное лесовосстановление и минерализация почвы;

- создание лесных культур и сохранение семенных деревьев (куртин или полос).

3. Для формирования хозяйственно-ценных насаждений необходимо значительно увеличить площади, вовлекаемые в лесоводственные

и лесовосстановительные уходы с полной механизацией этих работ (экскаватор, агрегатируемый с мульчером).

4. Все это позволит обеспечить возможность эффективного регулирования будущего состава и строения фитоценозов для формирования высо-

копродуктивных древостоев с преобладанием хозяйственно-ценных пород. Особое внимание при лесокультурном производстве необходимо обращать на качество подготовки почвы и посадочный материал, что позволит повысить качество воспроизводства лесов и результативность этих работ.

Список источников

Инструкция по сохранению подроста и молодняка хозяйственно-ценных пород при разработке лесосек и приемке от лесозаготовителей вырубок с проведением мероприятий по восстановлению леса. М., 1994. 16 с.

Мерзленко М. Д., Бабич Н. А. Теория и практика искусственного лесовосстановления. Архангельск : С(А)ФУ, 2011. 239 с.

Методические рекомендации по выполнению в натуре контрольных проверок за соблюдением лесопользователями законодательных, нормативно-правовых актов, инструкций и правил в области лесных отношений при использовании лесов для заготовки древесины при рубках спелых, перестойных лесонасаждений, рубках ухода, санитарных рубках, при охране, защите и воспроизводстве лесов. Вологда, 2010. 89 с.

Об утверждении лесного плана Вологодской области : распоряжение губернатора Вологодской области от 30.11.2018 г. № 4807-р. Вологда, 2018. 211 с.

Об утверждении лесохозяйственного регламента Бабаевского лесничества Вологодской области : приказ Департамента лесного комплекса Вологодской области от 26.10.2018 г. № 1608 // Официальный портал опубликования правовых актов : [сайт]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3501201810290002/> (дата обращения: 15.03.2021).

Об утверждении Порядка отнесения земель, предназначенных для лесовосстановления, к землям, на которых расположены леса, и формы соответствующего акта : приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 11.03.2019 г. № 150 // Консультант плюс : [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325498/ (дата обращения: 01.02.2026).

Об утверждении правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : приказ от 29 декабря 2021 г. № 1024 // Консультант плюс : [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409248/ (дата обращения: 01.02.2026)

Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. М. : Прогресс, 1966. 60 с.

Редько Г. И., Мерзленко М. Д., Бабич Н. А. Лесные культуры. 2-е изд., испр. и доп. Ч. 2. М. : Юрайт, 2016. 304 с.

Санникова Н. С., Локосова Е. И. Микроэкосистемный анализ структурно-функциональных связей в лесных биогеоценозах // Генетические и экологические исследования в лесных экосистемах. Екатеринбург, 2001. С. 73–93.

References

Instructions for the Conservation of Undergrowth and Young Growth of Commercially Valuable Species during the Development of Logging Areas and the Acceptance of Cleared Areas from Loggers with the Implementation of Forest Restoration Measures. Moscow, 1994. 16 p.

- Merzlenko M. D., Babich N. A.* Theory and Practice of Artificial Reforestation. Arkhangelsk : S(A)FU, 2011. 239 p.
- Methodological Recommendations for the Implementation of On-Site Inspections to Ensure Forest Users' Compliance with Legislative, Regulatory, and Legal Acts, Instructions, and Rules in Forest Relations When Using Forests for wood logging in ripe and overmature Forests, Thinning, Sanitary Cuttings, and in Forest Protection, Conservation, and Regeneration. Vologda, 2010. 89 p.
- On approval of the forest plan for the Vologda Oblast : Order of the Governor of the Vologda Oblast dated November 30, 2018 № 4807-р. Vologda, 2018. 211 p.
- On approval of the forestry regulations of the Babaevsky Forestry of the Vologda Oblast : Order of the Department of Forestry of the Vologda Oblast dated October 26, 2018 № 1608 // Official portal for the publication of legal acts : [website]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3501201810290002/> (accessed 15.03.2021).
- On approval of the Procedure for classifying lands intended for reforestation as lands on which forests are located, and the form of the corresponding act : Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated March 11, 2019, № 150 // ConsultantPlus : [website]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325498/ (accessed 01.02.2026).
- On approval of the rules for reforestation, the form, composition, and procedure for approving a reforestation project, the grounds for refusing to approve it, as well as the requirements for the electronic format of a reforestation project: Order dated December 29, 2021, № 1024 // ConsultantPlus : [website]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409248/ (accessed 01.02.2026).
- Pobedinsky A. V.* Study of forest restoration processes. Moscow : Progress, 1966. 60 p.
- Redko G. I., Merzlenko M. D., Babich N. A.* Forest Cultures. 2nd ed., corrected and supplemented. Part 2. Moscow : Yurait, 2016. 304 p.
- Sannikova N. S., Lokosova E. I.* Microecosystem Analysis of Structural-Functional Relationships in Forest Biogeocenoses // Genetic and Ecological Studies in Forest Ecosystems. Yekaterinburg, 2001. P. 73–93. (In Russ.)

Информация об авторах

*Ф. Н. Дружинин – доктор сельскохозяйственных наук, доцент;
В. В. Смирнов – соискатель, генеральный директор.*

Information about the authors

*F. N. Druzhinin – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor;
V. V. Smirnov – Applicant, General Director.*

*Статья поступила в редакцию 17.03.2026; принята к публикации 16.04.2026.
The article was submitted 17.03.2026; accepted for publication 16.04.2026.*

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 23–29.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 23–29.

Научная статья

УДК 630.283.1

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.003

ПОТЕНЦИАЛ ПИЩЕВЫХ И ЛЕКАРСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ БРУСНИКИ (*VACCINIUM VITIS-IDAEA* L.) АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Александр Григорьевич Попов¹, Владимир Владимирович Семенюк²,
Сергей Викторович Коптев³, Сергей Васильевич Третьяков⁴

^{1–4} Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова,
Архангельск, Россия

^{2–4} Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства,
Архангельск, Россия

¹ popov_a_g@bk.ru, <http://orcid.org/0009-0006-8929-9695>

² semen-bvs@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7741-5817>

³ s.koptev@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

⁴ s.v.tretyakov@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

Аннотация. Ягоды и листья брусники являются традиционным объектом заготовки местного населения на территории Архангельской области. Официальных данных об объемах изымаемых ресурсов ягод и листьев брусники нет. Целью данной работы является установление территориального распределения ресурсов ягод брусники, доступных для использования (разрешенного объема использования), и определение ресурсного потенциала брусничного листа по лесничествам Архангельской области. Особенностью произрастания брусники в районе исследований является отсутствие ежегодного обильного плодоношения. Обильный урожай ягод встречается в местах проведения заготовки древесины 3–4-летней давности, особенно в ходе выборочных рубок. На таких участках плодоношение при благоприятных погодных условиях может отмечаться на протяжении нескольких лет, однако в дальнейшем после разрастания древесной растительности или травы оно может прекратиться. На инвестиционную привлекательность ресурсов оказывает влияние отсутствие прогнозных наблюдений. Так, по оценкам специалистов, урожайность ягод можно прогнозировать по уровню цветения и формирования завязей в весенний период на сети стационарных объектов. Проведенные исследования направлены на изучение ресурсного потенциала брусники на территории Архангельской области. В данном регионе, по данным лесного планирования, возможны заготовки порядка 8436,71 т ягод, или в среднем на лесничество $290,9 \pm 46,9$ т ягод ежегодно. Ресурсы брусничного листа, по оценкам специалистов, также размещаются по территории Архангельской области неравномерно и, по данным лесохозяйственных регламентов, составляют 34255 т, или в среднем на лесничество $1181,2 \pm 323,6$ т листа ежегодно.

Ключевые слова: брусника, брусничный лист, ресурсы ягод

Финансирование: публикация подготовлена по результатам НИР, выполненной в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства (регистрационный номер темы – 123030700068-8).

Для цитирования: Потенциал пищевых и лекарственных ресурсов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) Архангельской области / А. Г. Попов, В. В. Семенюк, С. В. Коптев, С. В. Третьяков // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 23–29.

Original article

FOOD AND MEDICINAL POTENTIAL OF LINGONBERRY (*VACCINIUM VITIS-IDAEA* L.) OF THE ARKHANGELSK REGION

Alexander G. Popov¹, Vladimir V. Semenyuk², Sergey V. Koptev³, Sergey V. Tretyakov⁴

^{1–4} Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

^{2–4} Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russia

¹ popov_a_g@bk.ru, <http://orcid.org/0009-0006-8929-9695>

² semen-bvs@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7741-5817>

³ s.koptev@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

⁴ s.v.tretyakov@narfu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

Abstract. Lingonberry berries and leaves are traditionally used by local populations in the densely forested Arkhangelsk region. There are no official data on the volume of lingonberry berries and leaves seized resources. The purpose of this research is to determine the territorial distribution of lingonberry resources available for use (permitted use volume) and to determine the resource potential of lingonberry leaves across forestry units in the Arkhangelsk region. A distinctive feature of lingonberry growth is that abundant fruiting does not occur annually. Abundant berry yields have been observed in areas where wood was produced, especially in selective cuttings 3–4 years ago. In such areas, fruiting may continue for several years under favorable weather conditions, but fruiting may eventually cease after the growth of woody vegetation or grass. The lack of predictive data affects the investment attractiveness of these resources. According to experts, berry yield can be predicted based on flowering and ovary formation level basing on the network of trial plots in the spring. The research aimed to understand the resource potential of lingonberry in the Arkhangelsk Region. According to forest planning data, approximately 8436,71 tons of berries, or an average of $290,9 \pm 46,9$ tons per forestry unit, can be harvested in the Arkhangelsk Region annually. Experts also estimate that lingonberry leaf production is unevenly distributed across the Arkhangelsk Region, and, according to forestry regulations, amounts to 34255 tons, or an average of $1181,2 \pm 323,6$ tons per forestry unit annually.

Keywords: lingonberry, lingonberry leaf, berry resources

Funding: the publication was prepared based on the results of research carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Institution “NRIF” to conduct applied scientific research in the field of activities of the Federal Forestry Agency (subject registration number – 123030700068-8).

For citation: Food and medicinal potential of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) of the Arkhangelsk region / A. G. Popov, V. V. Semenyuk, S. V. Koptev, S. V. Tretyakov // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 23–29.

Введение

Ягоды брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) являются наиболее востребованными у местного населения наряду с клюквой и черникой. Особенности брусники являются ее вкусовые качества

и большое количество полезных свойств, которые издавна привлекали людей. В особо урожайные годы она плодоносит почти повсеместно, но наибольший урожай дает на участках с разреженными насаждениями, на зарастающих вырубках

и опушках леса. Кусты брусники адаптируются к изменившимся условиям среды и начинают обильно плодоносить. После зарастания участка древесными породами брусника остается под пологом древостоя, но плодоношение резко снижается. Для ведения хозяйства на заготовку ягод приходится искать другие участки. Сбор ягод и других видов пищевых лесных ресурсов, лекарственных растений местным населением для собственных нужд считается традиционно бесплатным мероприятием. Использование лесных ягодных ресурсов для собственных нужд гражданами городов и сел Российской Федерации осуществляется в соответствии с общественным лесным сервитутом на безвозмездной основе. Промышленная заготовка пищевых ресурсов в соответствии с Лесным кодексом должна быть платной (Лесной кодекс, 2006). Ограничение при этом состоит в необходимости поддержания экологического равновесия в природе.

При разработке лесных планов субъектов и лесохозяйственных регламентов Российской Федерации возникает необходимость установления объема разрешенного использования недревесных лесных ресурсов. В документах лесного планирования приводится информация о допустимых объемах разрешенного использования различных видов ягод, грибов, лекарственных растений и соков. При определении размеров использования ресурсов сначала по разработанным методикам и нормативам устанавливается биологический объем ресурсов, а затем экономически доступная его часть, которую возможно реально заготовить в данных условиях (Лукин, Чертовской 1977; Шевелев, Шевелева, 1991; Луганский и др., 1995). Наиболее популярными у населения считаются ягоды брусники, клюквы, черники, голубики, морошки, малины, рябины, черемухи. Брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – это один из наиболее распространенных видов пищевых продуктов леса, используемых в промышленности и населением для собственных нужд. Излишки лесных ягод брусники появляются на рынке вместе с другими пищевыми ресурсами местных товаропроизводителей. Заготовка ягод в промышленных масштабах производится в полуофициальном

порядке, так как участков для заготовки ягод в аренде у местных предпринимателей нет. Компании занимаются закупкой у населения ягод и другой лесной продукции, которая заготовлена для собственных нужд и на продажу. Местное население собирает бруснику, которая, помимо высоких пищевых качеств, имеет еще и лекарственную ценность. В некоторой степени организация промышленных заготовок связана с высокими рисками, так как отсутствуют модели, позволяющие на ранних стадиях прогнозировать урожайность брусники. Вместе с тем спрос на лесные ягоды постоянно растет как в России, так и за рубежом (Коростелев и др., 2010; Курлович и др., 2018; Повышение продуктивности..., 2022). Приведение в известность лесных ягодных ресурсов и их локализации, повышение точности прогнозирования урожая ягод с целью снижения предпринимательского риска и повышения привлекательности данного вида использования лесов для развития лесного бизнеса, повышения благосостояния местного населения, проживающего в сельской местности, – важная и актуальная задача.

Цель, объекты и методика исследований

Целью работы является установление территориального распределения ресурсов ягод брусники для установления доступного для использования (разрешенного) урожая и определение ресурсного потенциала брусничного листа по лесничествам Архангельской области.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проанализировать материалы лесного планирования, таксационные базы данных по лесничествам для установления размеров разрешенного использования;
- провести сравнительный анализ распределения по территории Архангельской области ресурсов пищевых и лекарственных ресурсов брусники;
- разработать карту распределения ресурсов брусничного листа по территории Архангельской области.

По таксационным описаниям лесничеств Архангельской области получали распределения

по преобладающим породам типов леса, классам бонитета и полноты. Используя нормативы, приведенные в лесотаксационных справочниках, устанавливали биологические запасы ягод и листьев брусники (Лесотаксационный справочник..., 2012; Полевой лесотаксационный справочник, 2016; Курлович, Косицын, 2018). Проводили сравнительный анализ объемов разрешенного использования ягод и листьев брусники по лесничествам Архангельской области.

Результаты и их обсуждение

В результате сбора, обработки и анализа материалов лесного планирования, проведения технических расчетов по материалам лесоустройства были установлены ежегодные допустимые объемы использования ягод брусники по лесничествам Архангельской области. Проведенные расчеты не показывают динамику мест массового сбора на вырубках 3–4-летней давности, а отражают сложившееся состояние лесного фонда на момент проведения последнего лесоустройства. Фактические объемы заготовки в лесничествах не фиксируются в статистических материалах. Местное население часть ягод, собранных для собственных нужд, сдает представителям коммер-

ческих компаний или продает на местных рынках или рынках городов Архангельской области, включая «Маргаритинскую ярмарку», которая ежегодно проходит в октябре в г. Архангельске.

Установленные и включенные в Лесохозяйственные регламенты допустимые объемы использования ягод брусники по лесничествам Архангельской области приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что объемы, разрешенные к использованию для заготовки ягод брусники по лесничествам, существенно различаются (минимальный объем в Сийском лесничестве – 7 т и максимальный объем в Пинежском – 1137 т). В среднем по лесничествам Архангельской области объем составляет $290,9 \pm 46,9$ т ягод ежегодно, или всего 8436,71 т. Данных об объемах фактической заготовки на текущий момент нет.

По данным Т. Л. Егошиной, в период с 1985 по 1988 гг. в Архангельской области заготавливали в организованном порядке через заготовительные пункты порядка 1001–2021 т, в период 2001–2003 гг. – 25–105 т. Заготовка местным населением для собственных нужд в тот же период составляла 3000–4000 т ежегодно (Егошина, 2005). По экспертным оценкам такие объемы заготовки сохранились и в настоящее время.

Таблица 1
Table 1

Ежегодные допустимые объемы заготовки ягод брусники
по лесничествам Архангельской области
Annual permissible volumes of lingonberry harvesting in forestry
of the Arkhangelsk region

Лесничества Forestry	Лист брусники, т Lingonberry leaf, tons
Сурское, Соловецкое, Сийское, Северодвинское, Пуксоозерское, Холмогорское, Плесецкое, Обозерское, Няндомское, Котласское, Карпогорское, Каргопольское, Красноборское, Вилегодское, Архангельское Surskoye, Solovetskoye, Siyskoye, Severodvinskoye, Puksoozerskoye, Kholmogorskoye, Plesetskoye, Obozerskoye, Nyandomskoye, Kotlaskoye, Karpogorskoye, Kargopolskoye, Krasnoborskoye, Vilegodskoye, Arkhangelskoye	0–250
Яренское, Устьянское, Приозерное, Коношское, Емецкое, Выйское, Верхнетоемское, Вельское, Березниковское, Шенкурское Yarenskoye, Ustyanskoye, Priozernoye, Konoshskoye, Yemetskoye, Vyskoye, Verkhnetoyemskoye, Velskoye, Bereznikovskoye, Shenkurskoye	251–550
Онежское, Мезенское, Лешуконское Onega, Mezen, Leshukonskoye	551–850
Пинежское Pinezhskoye	851–1150

Часть ягод, заготовленных для собственных нужд, население продает заготовительным организациям, которые официально зарегистрированы в других регионах за пределами Архангельской области. Часть продукции, вывезенной с территории Архангельской области, идет на экспорт. По данным Т. Л. Егошиной (2005), Карелия ежегодно в период с 2001 по 2003 гг. поставляла на экспорт 1989–3945 т брусники.

Вторым очень важным лекарственным ресурсом является брусничный лист. Ежегодные допу-

стимые объемы использования листьев брусники в Архангельской области по состоянию на 2026 г. приведены в табл. 2.

По табл. 2 видно, что распределение ресурсов брусничного листа, допустимых для использования на территории Архангельской области, также неравномерно. Разрешенный для заготовки объем ресурсов брусничного листа, по данным лесохозяйственных регламентов, в Архангельской области составляет 34 255 т, или в среднем на лесничество $1181,2 \pm 323,6$ т листьев ежегодно.

Таблица 2

Table 2

Ежегодные допустимые объемы использования листьев брусники
в Архангельской области по состоянию на 2026 г.
Annual permissible volumes of lingonberry leaf use
in the Arkhangelsk region as of 2026

Лесничества Forestry	Лист брусники, т Lingonberry leaf, tons
Вельское, Соловецкое, Сийское, Няндомское, Котласское, Каргопольское, Коношское, Красноборское, Вилегодское, Выйское, Мезенское, Устьянское, Шенкурское, Яренское Velskoye, Solovetskoye, Siyskoye, Nyandomskoye, Kotlasskoye, Kargopolskoye, Konoshskoye, Krasnoborskoye, Vilegodskoye, Vyskoye, Mezenskoye, Ustyanskoye, Shenkurskoye, Yarenskoye	0–203
Приозерное, Емецкое, Верхнетоемское, Лешуконское Priozernoe, Yemetskoye, Verkhnetoyemskoye, Leshukonskoye	204–1035
Архангельское, Обозерское, Пинежское, Плесецкое, Пуксоозерское, Северодвинское, Сурское, Холмогорское Arkhangelskoye, Obozerskoye, Pinezhskoye, Plesetskoye, Puksoozerskoye, Severodvinskoye, Surskoye, Kholmogorskoye	1036–2572
Березниковское, Карпогорское, Онежское Bereznikovskoye, Karpogorskoye, Onezhskoye	2573–7731

Выводы

1. Изучение данных о допустимых объемах заготовки ягод и листьев брусники в Архангельской области и их территориальном распределении направлено на повышение инвестиционной привлекательности недревесных ресурсов.

2. На продуктивность ягодников оказывают влияние в первую очередь климатические условия района исследования – температурный режим в период цветения и образования завязей ягод, так как именно в этот период и происходит формирование урожая текущего года. Кроме того, на урожай ягод брусники оказывают влияние рубки насаждений как сплошные, так и выборочные. В местах проведения рубок через 3–4 года происходит массовое цветение и плодоношение

брусники, а по истечении периода лесовосстановления после разрастания древесных растений и смыкания крон в насаждениях, массовый урожай резко снижается. Это отмечают многие исследователи (Гаммерман, Гром, 1976; Лукин, Чертовской, 1977).

3. В Архангельской области, по данным лесного планирования, возможно для заготовки порядка 8436,71 т ягод, или в среднем на лесничество $290,9 \pm 46,9$ т ягод ежегодно. Ресурсы брусничного листа размещаются по территории Архангельской области неравномерно с большей локализацией в районах лесозаготовок и, по данным лесохозяйственных регламентов, для Архангельской области составляют 34 255 т, или в среднем на лесничество $1181,2 \pm 323,6$ т листа ежегодно.

Список источников

- Гаммерман А. Ф., Гром И. И. Дикорастущие лекарственные растения СССР. М. : Медицина, 1976. 288 с.
- Егошина Т. Л. Недревесные растительные ресурсы России. М. : НИА-Природа, 2005. 74 с.
- Коростелев А. С., Залесов С. В., Годовалов Г. А. Недревесная продукция леса. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. 480 с.
- Курлович Л. Е., Косицын В. Н. Таксационный справочник по лесным ресурсам России (за исключением древесины). Пушкино : Всерос. НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2018. 282 с.
- Курлович Л. Е., Косицын В. Н., Цареградская С. Ю. Состояние нормативно-справочной базы для таксации недревесных лесных ресурсов на территории Российской Федерации // Лесохозяйственная информация : электрон. сетевой журн. 2018. № 3. С. 87–96. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.11
- Лесной кодекс Российской Федерации : ФЗ № 200 от 24.11.2026 // КонсультантПлюс : [сайт]. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=511674&dst=100001#TL5IyCVkrNexXubw> (дата обращения: 05.03.2026).
- Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми) / сост. : Г. С. Войнов [и др.]. Архангельск : Правда Севера, 2012. 672 с.
- Луганский Н. А., Залесов С. В., Щавровский В. А. Повышение продуктивности лесов. Екатеринбург : УГЛТА, 1995. 297 с.
- Лукин И. Н., Чертовской В. Г. Рекомендации по учету, прогнозированию и сбору недревесной продукции леса. Архангельск, 1977. 43 с.
- Повышение продуктивности и доходности лесов путем содействия использованию недревесных лесных ресурсов арктической зоны Архангельской области / А. П. Богданов, Н. А. Демидова, С. В. Третьяков, А. С. Ильинцев // Растительный покров Европейского Севера и Арктики : XIV Перфильевские научные чтения, посвященные 140-летию со дня рождения Ивана Александровича Перфильева / сост. Т. А. Парина. Архангельск : КИРА, 2022. С. 241–246.
- Полевой лесотаксационный справочник / под общ. ред. С. В. Третьякова, С. В. Ярославцева, С. В. Коптева. Архангельск : САФУ, 2016. 252 с.
- Таксационный справочник по недревесным ресурсам лесов России / Л. Е. Курлович, В. Н. Косицын, В. Б. Панков, Ю. Е. Терехова. Пушкино : ВНИИЛМ, 2018. 222 с.
- Шевелев С. Л., Шевелева Г. А. Методика полевых исследований при таксации ресурсов и изучении особенностей развития дикорастущих пищевых и лекарственных растений (в помощь к дипломному проектированию для студентов). Красноярск : СТИ, 1991. 36 с.

References

- Egoshina T. L. Non-wood Plant Resources of Russia. Moscow : NIA-Nature, 2005. 74 p.
- Field forest inventory handbook / Edited by S. V. Tretyakova, S. V. Yaroslavtseva, S. V. Kopteva. Arkhangelsk : NArFU, 2016. 252 p.
- Forest Code of the Russian Federation : Federal Law № 200, from 11/26/2026 // ConsultantPlus : [website]. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=511674&dst=100001#TL5IyCVkrNexXubw> (accessed 05.03.2026).
- Forest Inventory Handbook for the Northeast of the European Part of the Russian Federation: (regulatory materials for the Nenets Autonomous Okrug, Arkhangelsk and Vologda Oblasts and the Komi Republic) / compiled by : Cand. Agriculture Sci. G. S. Voynov [et al.]. Arkhangelsk : Truth of the North, 2012. 672 p.
- Gammerman A. F., Grom I. I. Wild Medicinal Plants of the USSR. Moscow : Meditsina, 1976. 288 p.

- Increasing forest productivity and profitability by promoting the use of non-timber forest resources in the Arctic zone of the Arkhangelsk region / *A. P. Bogdanov, N. A. Demidova, S. V. Tretyakov, A. S. Ilyintsev* // Vegetation cover of the European North and the Arctic : XIV Perflyev scientific readings dedicated to the 140th anniversary of the birth of Ivan Aleksandrovich Perflyev / compiled by T. A. Parinova. Arkhangelsk : KIRA, 2022. P. 241–246. (In Russ.)
- Korostelev A. S., Zalesov S. V., Godovalov G. A.* Non-wood Forest Products. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2010. 480 p.
- Kurlovich L. E., Kositsyn V. N.* Taxation Handbook of Forest Resources of Russia (excluding Timber). Pushkino : All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, 2018. 282 p.
- Kurlovich L. E., Kositsyn V. N., Tsaregradskaya S. Yu.* The state of the regulatory and reference framework for the taxation of non-timber forest resources in the Russian Federation // Lesohoz. inform. : electronic online journal. 2018. № 3. P. 87–96. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.11 (In Russ.)
- Lugansky N. A., Zalesov S. V., Shchavrovsky V. A.* Increasing Forest Productivity. Yekaterinburg : USFEA, 1995. 297 p.
- Lukin I. N., Chertovskoy V. G.* Recommendations for the accounting, forecasting and collection of non-timber forest products. Arkhangelsk, 1977. 43 p.
- Shevelev S. L., Sheveleva G. A.* Field Research Methodology for Resource Inventory and Study of Developmental Features of Wild Food and Medicinal Plants (as an aid to students' diploma projects). Krasnoyarsk : STI, 1991. 36 p.
- Taxation Handbook of Non-Timber Forest Resources of Russia / *L. E. Kurlovich, V. N. Kositsyn, V. B. Pankov, Yu. E. Terekhova*. Pushkino : VNIILM, 2012. 222 p.

Информация об авторах

A. Г. Попов – аспирант;

B. В. Семенюк – аспирант;

C. В. Коптев – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник;

C. В. Третьяков – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the author

A. G. Popov – Postgraduate Student;

V. V. Semenyuk – Postgraduate Student;

S. V. Koptev – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief Researcher;

S. V. Tretyakov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 25.03.2026; принята к публикации 21.04.2026.

The article was submitted 25.03.2026; accepted for publication 21.04.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 30–38.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 30–38.

Научная статья

УДК 630.627.3(470.54)

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.004

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПОДЛЕСКА В ЛЕСНОМ ПАРКЕ ИМЕНИ ЛЕСОВОДОВ РОССИИ И ПУТИ ЕГО ОБОГАЩЕНИЯ

Анастасия Николаевна Марковская¹, Наталья Павловна Бунькова²,
Сергей Вениаминович Залесов³

^{1–3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ markovskaya_nastasya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5966-7825>

² bunkovanp@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7228-4693>

³ zalesovsv@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

Аннотация. На основе использования современных лесоводственных методик изучен видовой состав, встречаемость и санитарное состояние подлесочных видов в лесном парке имени Лесоводов России, территория которого относится к Средне-Уральскому таежному лесному району. В процессе исследований установлено, что на территории лесного парка встречается 30 подлесочных видов, в состав которых входят как аборигенные виды, так и интродуценты. Для более объективной оценки видового разнообразия территория лесного парка была разбита на семь отдельных объектов с учетом типа леса, удаленности от дачных участков, дорог и линий электропередач (ЛЭП). Исследования показали, что максимальным разнообразием характеризуется подлесок вдоль дорожно-тропиночной сети – 27 видов, или 90 % от общего количества. Большинство видов подлеска характеризуется низкой встречаемостью. Так, встречаемость более 10 % зафиксирована только у четырех видов подлеска: черемухи обыкновенной (*Padus racemose* (Lam.) Gilib.), малины лесной (*Rubus idaeus* L.), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) и видов рода ива (*Salix* L.). Большинство видов характеризуется хорошим и вполне удовлетворительным состоянием. Однако для улучшения состояния и декоративности целесообразно было бы провести омоложение части подлеска путем посадки его на пень. Кроме того, в целях обеспечения рекреационной привлекательности и создания условий для гнездования мелких птиц целесообразно было бы вдоль дорожно-тропиночной сети и на ЛЭП высадить красиво цветущие ягодниковые кустарники. В лесном парке зафиксировано два инвазивных вида подлеска: клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br.), которые нуждаются в удалении путем инъекции арборицида.

Ключевые слова: лесной парк, подлесок, видовое разнообразие, омоложение, введение интродуцентов

Для цитирования: Марковская А. Н., Бунькова Н. П., Залесов С. В. Видовое разнообразие подлеска в лесном парке имени Лесоводов России и пути его обогащения // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 30–38.

Original article

FOREST UNDERSTORY SPECIES DIVERSITY IN THE FOREST PARK NAMED AFTER RUSSIAN FORESTERS AND WAYS OF ITS ENRICHMENT

Anastasia N. Markovskaya¹, Natalya P. Bunkova², Sergey V. Zalesov³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ markovskaya_nastasya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5966-7825>

² bunkovanp@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7228-4693>

³ zalesovsv@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

Abstract. Using modern forestry techniques, the species composition, occurrence, and sanitary condition of understory species in the forest park named after Russian Foresters, located in the Middle Ural Taiga Forest Region, were researched. The researches revealed that 30 understory species, including both native and introduced species, are present within the park. To more objectively assess species diversity, the forest park was divided into seven separate units based on forest type, distance from summer cottages, roads, and power lines. The research revealed that the understory along the road and path network exhibited the highest diversity – 27 species, or 90 % of the total. Most understory species are characterized by low occurrence. Thus, an occurrence of more than 10 % was recorded for only four understory species: bird cherry (*Padus racemose* (Lam.) Gilib.), wild raspberry (*Rubus idaeus* L.), mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.), and willow species (*Salix* L.). Most species are in good and quite satisfactory condition. However, to improve the condition and decorativeness, it would be advisable to rejuvenate some of the understory by planting it on stumps. Furthermore, to ensure recreational appeal and create conditions for nesting small birds, it would be advisable to plant beautifully flowering berry bushes along roads and path network and on power lines. Two invasive understory species have been recorded in the forest park: ash-leaved maple (*Aser negundo* L.) and schizonotus (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br.), which require removal by arboricide injection.

Keywords: forest park, understory, species diversity, rejuvenation, introduction of introduced species

For citation: Markovskaya A. N., Bunkova N. P., Zalesov S. V. Forest understory species diversity in the forest park named after Russian Foresters and ways of its enrichment // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 30–38.

Введение

Одной из актуальнейших проблем современности является улучшение качества жизни населения (Качество жизни..., 2012, 2013; Жилищно-коммунальное хозяйство..., 2017). Последнее объясняется концентрацией населения в крупных мегаполисах с развитой промышленностью и наличием большого количества автотранспорта. Промышленные поллютанты приводят к загрязнению атмосферного воздуха, что негативно сказывается на репродуктивном состоянии древесной растительности (Effect..., 2006), а также санитарном состоянии древостоев (Колтунов и др., 2007; 2011; Залесов и др., 2008; Залесов, Колтунов, 2009).

Кроме того, промышленные поллютанты негативно воздействуют на другие компоненты насаждений лесных парков (Communities..., 2002; Ставишенко, Залесов, 2008; Залесов и др., 2017). Указанное свидетельствует о необходимости тщательного подбора древесно-кустарниковых видов для использования при формировании объектов озеленения, а также расширения биологического разнообразия лесных парков. Подбор видов, сортов и форм древесных интродуцентов должен учитывать не только климатические условия, но и устойчивость их к воздействию промышленных поллютантов различного химического состава.

Естественно, что первостепенное значение при формировании лесных парков уделяется древостою. Однако абсолютное большинство лесных парков на Урале сформировано на основе имевшихся естественных насаждений, для которых характерно доминирование одновозрастных простых древостоев с ограниченным видовым разнообразием. В частности, к таковым относятся все 15 лесных парков г. Екатеринбурга. Реконструкция и омоложение насаждений сложны для выполнения, поскольку все лесные парки города отнесены к особо охраняемым природным территориям (ООПТ), проведение лесоводственных мероприятий в которых строго ограничено. Последнее относится и к проведению рубок обновления. Не допускается введение в лесные парки интродуцентов, что связано с опасностью занесения инвазивных видов.

В то же время наличие интродуцентов в лесных парках имеет место, поскольку парки непосредственно примыкают к садоводческим товариществам и объектам озеленения г. Екатеринбурга, где интродуценты широко используются.

Цель, объекты и методика исследований

Целью наших исследований являлось изучение видового состава и встречаемости подлеска на территории лесного парка имени Лесоводов России и разработка на основе полученных данных предложений по расширению видового разнообразия подлесочных видов.

Исследования проводились в лесном парке имени Лесоводов России площадью 904 га, который расположен на юго-восточной окраине г. Екатеринбурга. Парк является типичным для восточного макросклона Урала, что подтверждается доминированием сосновых насаждений, на долю которых приходится 86,3 % общей покрытой лесной растительностью площади. Указанные насаждения на 558,9 га относятся к перестойным, что свидетельствует о необходимости их омоложения. Высокая потенциальная производительность и устойчивость насаждений лесного парка подтверждается тем, что 67,2 % площади сосняков относится к разнотравному типу леса.

Учитывая неоднородность территории лесного парка, в процессе исследований последний разделили на семь объектов по типам леса, удаленности от дорог, линий электропередач (ЛЭП) и садовых товариществ. Насаждения всех исследуемых типов леса представлены спелыми сосновыми древостоями.

В ходе исследований применялся маршрутный метод, в процессе которого на ранее установленных маршрутах в каждом из семи объектов закладывались учетные площадки размером 1×1 м через одинаковые расстояния (Основы..., 2007; Данчева и др., 2023). На каждой из учетных площадок устанавливались количество экземпляров подлеска по видам, их жизненное состояние, декоративность и средняя высота.

Специфической особенностью прокладки маршрутов и закладки учетных площадок являлось то, что вдоль дорожной сети они располагались с двух ее сторон. На ЛЭП прокладывалось три маршрута: по обеим сторонам и по центру. Вблизи садовых товариществ и внутри насаждений маршрутные ходы прокладывались через каждые 9–10 м с целью максимального охвата произрастающих насаждений.

При определении видов подлеска использовались региональные определители (Петров, Дорожкин, 2002; Куликов, 2010). Из-за сложности определения растения рода ива (*Salix* L.) по видам не разделялись. Жизненное состояние определялось по методике В.М. Алексеева (1989), декоративность – по методике Н.А. Бабича с соавторами (Бабич и др., 2008).

В камеральных условиях рассчитывалась встречаемость видов подлеска как выраженное в процентах частное от деления количества учетных площадок с наличием конкретного вида подлеска на общее количество заложенных площадок.

Сходство видов между выделенными объектами устанавливалось с использованием коэффициента Жаккара (Данчева и др., 2023). Степень сходства определялась в соответствии с данными табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Степень общности подлеска при разных коэффициентах Жаккара
The degree of generality of the undergrowth at different Jacquard coefficients

Степень общности Degree of generality	Коэффициент Жаккара Jacquard coefficients
Нет соответствия There is no compliance	Менее 0,2
Малое соответствие Low compliance	0,2–0,65
Большое соответствие Great compliance	0,66–0,95
Полное соответствие Full compliance	1,0

Результаты и их обсуждение

Выполненные исследования показали, что максимальным видовым разнообразием характеризуется подлесок вдоль дорожно-тропиночной сети (табл. 2).

Материалы табл. 2 наглядно свидетельствуют, что в лесном парке имени Лесоводов России встречается 30 видов подлеска. При этом количество видов зависит от типа леса, расстояния до садовых участков, а также от наличия дорожно-тропиночной сети. Интересно, что минимальное количество видов подлеска зафиксировано в полосе отвода ЛЭП при максимальной по сравнению с другими объектами освещенности.

Последнее, на наш взгляд, объясняется разрастанием зарослей видов, появившихся на ЛЭП, а также конкуренцией со стороны подроста и живого напочвенного покрова. В частности, встречаемость малины лесной на ЛЭП составляет 39,83 %, видов рода ива – 32,20 %, караганы древовидной – 25,42 %.

Значительным видовым разнообразием подлеска характеризуется сосняк орляковый вблизи садовых участков. Здесь зафиксировано 24 вида, что объясняется переносом семян с садовых участков.

Таблица 2
Table 2

Встречаемость видов подлеска по объектам в лесном парке
имени Лесоводов России, %
Occurrence of species of undergrowth by objects in the Forest Park named
after the Foresters of Russia, %

№ п/п	Название вида Species name	Встречаемость видов по объектам, % Frequency of species by objects, %						
		ДТС RPN	ЛЭП PL	Сяг Pb	Сорл (СУ) Pbr (GP)	Сртр Pm-g	Сорл Pbr	Сртр (СУ) Pm-g (GP)
1	Черемуха обыкновенная <i>Padus racemosa</i> (Lam.) Gilib.	16,08	0	22,60	31,84	28,57	25,95	12,82
2	Малина лесная <i>Rubus idaeus</i> L.	15,58	39,83	29,4	26,41	29,93	6,87	10,26
3	Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucuparia</i> L.	18,59	6,77	15,84	17,28	29,25	9,92	23,08
4	Ива <i>Salix</i> L.	6,03	32,20	0	1,36	0	3,82	3,21
5	Жимолость татарская <i>Lonicera tatarica</i> L.	4,86	1,69	12,67	9,51	15,65	2,29	8,97
6	Сирень венгерская <i>Syringa josikaea</i> Jacq. f.	2,68	0	10,86	11,46	0	2,29	0
7	Клен ясенелистный <i>Acer negundo</i> L.	5,36	9,32	9,95	12,04	17,01	1,53	0,64
8	Карагана древовидная <i>Caragana arborescens</i> Lam.	1,01	25,42	2,26	1,17	0	0	3,21
9	Липа мелколистная <i>Tilia cordata</i> Mill.	1,34	0	0	0,68	6,12	0,76	16,67

Окончание табл. 2
The end of the table 2

№ п/п	Название вида Species name	Встречаемость видов по объектам, % Frequency of species by objects, %						
		ДТС RPN	ЛЭП PL	Сяг Pb	Сорл (СУ) Pbr (GP)	Сртр Pm-g	Сорл Pbr	Сртр (СУ) Pm-g (GP)
10	Калина обыкновенная <i>Viburnum opulus</i> L.	4,52	0	6,33	5,83	8,84	3,82	3,85
11	Кизильник блестящий <i>Cotoneaster lucida</i> Schlecht.	10,55	2,54	7,69	8,54	3,40	6,11	6,41
12	Яблоня лесная <i>Malus silvestris</i> Mill.	4,52	3,40	6,33	6,60	4,08	1,53	1,28
13	Роза иглистая <i>Rosa acicularis</i> Lindl.	1,73	11,02	3,62	2,33	0	1,53	2,56
14	Бузина обыкновенная <i>Sambucus racemosa</i> L.	0,83	0	1,81	2,14	4,76	6,11	0,64
15	Дерен белый <i>Cornus alba</i> L.	3,85	2,54	2,71	1,94	3,40	3,82	1,92
16	Черемуха Маака <i>Padus maackii</i> (Rupr.) Kom.	0,34	0	0,45	0	0	0	2,56
17	Пузыреплодник калинолистный <i>Physocarpus opulifolia</i> (L.) Maxim.	0,34	0	0	0,68	0	6,11	2,56
18	Барбарис обыкновенный <i>Berberis vulgaris</i> L.	1,51	1,69	2,71	2,91	4,76	3,82	0,64
19	Боярышник кроваво-красный <i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	1,17	7,62	2,26	1,75	0,68	1,53	2,56
20	Смородина альпийская <i>Ribes alpinum</i> L.	2,01	0	0,90	0,78	1,36	6,11	1,28
21	Ирга колосистая <i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) C. Koch.	1,01	1,69	0	0,68	1,36	0,76	1,28
22	Смородина золотистая <i>Ribes aureum</i> Pursh.	1,01	0	0	0,34	1,36	0	0
23	Клен остролистный <i>Acer platanoides</i> L.	0,67	0	0	0	0	0	0
24	Облепиха крушиновидная <i>Hippophae crhamnoides</i> L.	0	0	0	0,19	0	0	0
25	Смородина черная <i>Ribes nigrum</i> L.	0	0	0,90	0,39	0	0	0
26	Клен татарский <i>Acer tataricum</i> L.	0,50	0	0	0	0	0	0
27	Рябинник рябинолистный <i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A. Br.	0,34	0	0	0	0	0	0
28	Слива домашняя <i>Prunus domestica</i> L.	0,34	0	0	0	0	0	0
29	Крыжовник европейский <i>Grossularia reclinata</i> (L.) Mill.	0,17	0	0	0,19	0	0	0
30	Бересклет европейский <i>Euonymus europaea</i> L.	0	0	0	0	0	0,11	0

Примечание. ДТС – вблизи дорожно-тропиночной сети; ЛЭП – на линии электропередач; Сяг – сосняк ягодниковый; Сорл (СУ) – сосняк орляковый вблизи садовых участков; Сртр – сосняк разнотравный; Сорл – сосняк орляковый; Сртр (СУ) – сосняк разнотравный вблизи садовых участков.

Note. RPN – near road and path network; PL – on the power line; Pb – berry pine forest; Pm-g (GP) – bracken pine forest near garden plots; Pm-g – mixed-grass pine forest; Pbr – bracken pine forest; Pm-g – mixed-grass pine forest near garden plots.

В пользу указанного вывода свидетельствует тот факт, что под пологом сосняка орлякового аналогичного возраста, но удаленного от садовых участков, количество видов подроста составляет 20 шт. Аналогичная картина характерна и для спелого сосняка разнотравного. Вблизи садовых участков здесь зафиксировано 20 видов подлеска при 16 видах вдали от них.

Девять видов подлеска встречается на всех семи обследованных участках, а шесть видов только на одном объекте. Большинство видов подлеска характеризуется низкими показателями встречаемости. Так, количество видов с показателем встречаемости более 10 % составляет вдоль ДТС – три, в полосе отвода ЛЭП – три, под пологом сосняка ягодникового – пять, сосняка орлякового – один, сосняка орлякового вблизи садовых участков – пять, сосняка разнотравного – пять и сосняка разнотравного вблизи садовых участков – четыре. Максимальными показателями встречаемости характеризуется малина лесная и рябина обыкновенная.

Для более тщательного сравнения сходства видов подлеска нами был использован коэффициент

Жаккара. Результаты, приведенные в табл. 3, свидетельствуют, что между ДНС и насаждением сосняка орлякового вблизи и вдали от садовых участков, а также насаждениями сосняка разнотравного вблизи садовых участков наблюдается большое сходство в видовом составе подлеска. Аналогично характеризуется сходство между ЛЭП и сосняком разнотравным вблизи садовых участков. Насаждения сосняка ягодникового характеризуются большим сходством с сосняком разнотравным вблизи садовых участков, а также сосняком орляковым как вблизи, так и вдали от садовых участков.

Особо следует отметить, что сосняк орляковый вблизи садовых участков характеризуется большим сходством подлеска с таковым на других объектах, за исключением ЛЭП. В целом можно констатировать, что большинство объектов обладает большим и малым сходством (соответствием) подлеска.

В составе подлеска зафиксировано два инвазивных вида: клен ясенелистный и рябинник рябинолистный. При этом если клен ясенелистный в парке имени Лесоводов России встречается на всех обследованных объектах, а его встречаемость

Таблица 3

Table 3

Показатели сходства видов подлеска (коэффициент Жаккара) в лесном парке имени Лесоводов России по выделенным объектам, ед.
Indicators of the similarity of undergrowth species (Jaccard coefficient) in the Russian Foresters Forest Park by selected objects, units

Объект An object	Объект An object						
	ДТС RPN	ЛЭП PL	Сяг Pb	Сорл(СУ) Pbr(GP)	Сртр Pm-g	Сорл Pbr	Сртр(СУ) Pm-g(GP)
ДТС RPN	–	0,48	0,61	0,76	0,59	0,68	0,74
ЛЭП PL	0,48	–	0,55	0,54	0,55	0,57	0,65
Сяг Pb	0,61	0,55	–	0,71	0,61	0,65	0,75
Сорл(СУ) Pbr(GP)	0,79	0,54	0,71	–	0,66	0,72	0,76
Сртр Pm-g	0,59	0,55	0,61	0,66	–	0,75	0,71
Сорл Pbr	0,68	0,57	0,65	0,79	0,75	–	0,82
Сртр(СУ) Pm-g(GP)	0,74	0,65	0,75	0,76	0,71	0,82	–

варьируется от 0,64 до 17,01 %, то рябинник рябинолистный зафиксирован только у дорожно-тропиночной сети и имеет встречаемость 0,34 %. Высокая встречаемость клена ясенелистного объясняется широким использованием его в озеленении г. Екатеринбурга (Клен ясенелистный..., 2022) и его высокой способностью не только к семенному, но и вегетативному возобновлению (Вегетативное возобновление..., 2024). Поскольку указанные виды отнесены к инвазивным, необходимо если не исключить, то значительно ограничить их присутствие в лесном парке. При этом наиболее эффективным будет инъекция арбицидов в ствол подлеска.

Обследование экземпляров подлеска в лесном парке имени Лесоводов России показало, что абсолютное большинство видов характеризуется хорошим жизненным состоянием и декоративностью. В целях улучшения жизненного состояния старых экземпляров подлеска желательно выполнить их омоложение посадкой на пень. Увеличение биологического разнообразия можно обеспечить посадкой перспективных видов сортов и форм ягодных и красивоцветущих кустарников вдоль дорожно-тропиночной сети, в полосах отвода ЛЭП и вокруг мест отдыха. Указанное повысит рекреационную привлекательность лес-

ного парка, привлечет в него мелких птиц и ограничит бессистемное перемещение рекреантов по территории лесного парка.

Выводы

1. В лесном парке имени Лесоводов России встречается 30 видов подлеска.
2. Подлесок представлен как аборигенными, так и интродуцированными видами.
3. Встречаемость подлеска относительно низкая. Только четыре вида имеют показатель встречаемости более 10 %.
4. Жизненное состояние и декоративность подлеска хорошие. Однако требуется омоложение старых экземпляров путем посадки на пень.
5. Максимальное количество видов подлеска зафиксировано вдоль ДТС.
6. В составе подлеска встречается два инвазивных вида. Это клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) и рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Bt.). Данные виды подлежат удалению путем инъекции арборицида в ствол растений.
7. Увеличение видового разнообразия подлеска можно обеспечить посадкой красивоцветущих ягодных растений вдоль ДТИ и в полосах отвода ЛЭП.

Список источников

- Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Бабич Н. А., Залывская О. С., Травникова Г. И. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов. Архангельск : АГТУ, 2008. 143 с.
- Вегетативное возобновление клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на Урале / В. С. Котова, А. Н. Марковская, Е. Г. Мартюшова, С. В. Залесов // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 7 (145). DOI: 10.60797/IRJ.2024.145.164
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 146 с.
- Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке: экономические модели, новые технологии и практики управления / Л. С. Азаренков, Г. В. Астратова, Я. П. Силин [и др.]. М. : Екатеринбург : Науковедение, 2017. 600 с.
- Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (дата обращения: 01.05.2026).

- Залесов С. В., Колтунов Е. В. Корневые и стволовые гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Нижне-Исетском лесопарке г. Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала. 2009. № 1 (55). С. 73–75.
- Залесов С. В., Колтунов Е. В., Лаишевцев Р. Н. Основные факторы пораженности сосны корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках // Защита и карантин растений. 2008. № 2. С. 56–58.
- Качество жизни: вчера, сегодня, завтра. Актуальные проблемы вступления России в ВТО / Г. В. Асратова, А. В. Мехренцев, Л. И. Пономарева [и др.]. Екатеринбург : Стратегия позитива™, 2012. 400 с.
- Качество жизни: проблемы и перспективы XXI века / А. В. Мехренцев, М. И. Хрущева, С. В. Залесов [и др.]. Екатеринбург : Стратегия позитива™, 2013. 532 с.
- Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в озеленении г. Екатеринбурга / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, В. С. Котова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). С. 1–7. DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.19
- Колтунов Е. В., Залесов С. В., Демчук А. Ю. Корневые и стволовые гнили и состояние древостоев Шарташского лесопарка г. Екатеринбурга в условиях различных рекреационных нагрузок // Аграрный вестник Урала. 2011. № 8 (87). С. 43–46.
- Колтунов Е. В., Залесов С. В., Лаишевцев Р. Н. Корневая и стволовая гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в городских лесопарках г. Екатеринбурга // Леса Урала и хозяйство в них. 2007. № 29. С. 247–262.
- Куликов П. В. Определитель сосудистых растений Челябинской области. Екатеринбург : УрО РАН, 2010. 271 с.
- Основы фитомониторинга / С. В. Залесов, Е. А. Зотеева, А. Г. Магасумова [и др.]. Екатеринбург : УГЛТУ, 2007. 76 с.
- Петров А. П., Дорожкин Е. М. Дендрологический атлас. Екатеринбург : Урал. ин-т подготовки и повышения квалификации кадров лесного комплекса, 2002. 224 с.
- Ставищенко И. В., Залесов С. В. Флора и фауна природного парка «Самаровский Чугас». Ксилотрофные базидиальные грибы. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. 104 с.
- Effect of emissions from petroleum gas flares on the reproductive state of Pine stands in the northern taiga subzone / D. R. Anikeev, N. A. Luganskii, S. V. Zalesov [et al.] // Russia Journal of Ecology. 2006. Т. 37, № 2. P. 109–113.
- Communities of Wood-attacking Fungi in the Region of Oil and Gas Production / I. V. Stavishenko, S. V. Zalesov, N. A. Luganskii [et al.] // Russian Journal of Ecology. 2002. Т. 33, № 3. P. 161–169.

References

- Alekseev V. A. Diagnostics of the vital condition of trees and stands // Forestry science. 1989. № 4. P. 51–57. (In Russ.)
- Ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in landscaping in Yekaterinburg / N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, V. S. Kotova [et al.] // International Scientific Research Journal. 2022. № 12 (126). P. 1–7. DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.19 (In Russ.)
- Babich N. A., Zalyvskaya O. S., Travnikova G. I. Introducers in the land construction of northern cities. Arkhangelsk : ASTU, 2008. 143 p.
- Communities of Wood-attacking Fungi in the Region of Oil and Gas Production / I. V. Stavishenko, S. V. Zalesov, N. A. Luganskii [et al.] // Russian Journal of Ecology. 2002. Т. 33, № 3. P. 161–169.
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S. Forest ecological monitoring. Yekaterinburg : USFEU, 2023. 146 p.
- Effect of emissions from petroleum gas flares on the reproductive state of Pine stands in the northern taiga subzone / D. R. Anikeev, N. A. Luganskii, S. V. Zalesov [et al.] // Russia Journal of Ecology. 2006. Т. 37, № 2. P. 109–113.

- Fundamentals of phytomonitoring / S. V. Zalesov, E. A. Zoteeva, A. G. Magasumova [et al.]. Yekaterinburg : USFEU 2007. 76 p.
- Housing and communal services and the quality of life in the 21st century: economic models, new technologies and management practices / L. S. Azarenkov, G. V. Astratova, Ya. P. Silin [et al.]. Moscow ; Yekaterinburg : Naukovedenie, 2017. 600 p.
- Koltunov E. V., Zalesov S. V., Demchuk A. Yu. Root and stem rot and the state of stands of the Shartashsky forest park of Yekaterinburg in conditions of various recreational loads // Agrarian Bulletin of the Urals. 2011. № 8 (87). P. 43–46. (In Russ.)
- Koltunov E. V., Zalesov S. V., Laishevtsev R. N. Root and trunk rot of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in urban forest parks of Yekaterinburg // Forests of the Urals and economy in them. 2007. № 29. P. 247–262. (In Russ.)
- Kulikov P. V. Determinant of vascular plants of the Chelyabinsk region. Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2010. 271 p.
- Petrov A. P., Dorozhkin E. M. Dendrological atlas. Yekaterinburg : Ural institute of Training and advanced Training of personnel of the forestry complex, 2002. 224 p.
- Quality of life: problems and prospects of the XXI century / A. V. Mehrentsev, M. I. Khrushcheva, S. V. Zalesov [et al.] Yekaterinburg : Strategy of positive™, 2013. 532 p.
- Quality of life: yesterday, today, tomorrow. Actual problems of Russia's accession to the WTO / G. V. Astratova, A. V. Mehrentsev, L. I. Ponomareva [et al.]. Yekaterinburg : Strategy of positive™, 2012. 400 p.
- Stavishenko I. V., Zalesov S. V. Flora and fauna of the Samarovskiy Chugas Nature Park. Xylotrophic basidial fungi. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2008. 104 p.
- Vegetative renewal of the ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in the Urals / V. S. Kotova, A. N. Markovskaya, E. G. Martyushova, S. V. Zalesov // International Scientific Research Journal. 2024. № 7 (145). DOI: 10.60797/IRJ.2024.145.164 (In Russ.)
- Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. The state of forest plantations affected by industrial pollutants of Karabashmed CJSC and the reaction of their components to logging. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (accessed 01.05.2026).
- Zalesov S. V., Koltunov E. V., Laishevtsev R. N. The main factors affecting pine by root and trunk rot in urban parks // Plant protection and quarantine. 2008. № 2. P. 56–58. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Koltunov E. V. Root and stem rot of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and hanging birch (*Betula pendula* Roth.) in the Nizhne-Isetsy forest Park of Yekaterinburg // Agrarian Bulletin of the Urals. 2009. № 1 (55). P. 73–75. (In Russ.)

Информация об авторах

А. Н. Марковская – аспирант;

Н. П. Бунькова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

С. В. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

A. N. Markovskaya – graduate student;

N. P. Bunkova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

S. V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 18.01.2026; принята к публикации 06.05.2026.

The article was submitted 18.01.2026; accepted for publication 06.05.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 39–52.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 39–52.

Обзорная статья

УДК 630*18:582.623.2:504.5(470.4)

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.005

РОД *POPULUS* L. КАК КЛЮЧЕВОЙ КОМПОНЕНТ ФИТОРЕМЕДИАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА УРБОЭКОСИСТЕМ: МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ И АДАПТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ

Любовь Сергеевна Кулагина¹, Андрей Алексеевич Кулагин²

^{1,2} Нижневартровский государственный университет, Нижневартовск, Россия

¹ koolagina@yandex.ru, , <https://orcid.org/0000-0001-6866-0564>

² kulagin-aa@mail.ru, , <https://orcid.org/0000-0003-3107-1904>

Аннотация. Целью исследования является научное обоснование выбора видов рода *Populus* L. для фиторемедиации и озеленения промышленных городов на основе систематизации механизмов их устойчивости к техногенным стрессорам. Использован систематический обзор и сравнительный анализ отечественных и зарубежных публикаций (1990–2025 гг.) из баз РИНЦ, Scopus, WoS, Google Scholar. Проведен синтез данных по анатомо-морфологическим, физиолого-биохимическим и молекулярно-генетическим адаптациям шести видов и одной гибридной формы тополя. Установлено, что род *Populus* обладает уникальным сочетанием признаков: скоростью роста (текущий прирост до 3,5 м³/га/год), поливалентной устойчивостью и видоспецифичными фиторемедиационными стратегиями. *P. nigra* аккумулирует Zn (до 380 мг/кг) и Cd (коэффициент транслокации >1), *P. alba* фитостабилизирует Cu и Pb (коэффициент транслокации 0,15–0,25), *P. Balsamifera* проявляет анатомическую пластичность (утолщение листа на 18–25 %). Выявлены четыре базовые адаптивные стратегии: физиологическая толерантность (*P. balsamifera*), избегание/эксклюзия (*P. alba*), аккумуляция (*P. nigra*), биохимическая защита (*P. tremula*), а также комбинированная стратегия гибридов (*P. nigra* × *P. nigra* f. *italica*). Переход от экстенсивного использования «тополя вообще» к научно обоснованному, видоспецифичному подбору генотипов является стратегическим решением для формирования устойчивого экологического каркаса промышленных городов. Результаты формируют основу для разработки региональных стандартов озеленения и фиторемедиационных мероприятий.

Ключевые слова: *Populus*, тополь, урбоэкосистема, фиторемедиация, техногенное загрязнение, тяжелые металлы, засоление, адаптивная стратегия, экологическая пластичность, городское озеленение

Финансирование: исследование выполнено при поддержке Фонда научного и технологического развития Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (проект № 2025-604-04 «Фундаментальные и прикладные аспекты экологии и природопользования Западной Сибири и сопредельных территорий»).

Для цитирования: Кулагина Л. С., Кулагин А. А. Род *Populus* L. как ключевой компонент фиторемедиационного потенциала урбоэкосистем: механизмы устойчивости и адаптивные стратегии // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 39–52.

Review Article

THE GENUS *POPULUS* L. AS A KEY COMPONENT OF THE PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF URBAN ECOSYSTEMS: RESISTANCE MECHANISMS AND ADAPTIVE STRATEGIES**Lyubov S. Kulagina¹, Andrey A. Kulagin²**^{1,2} Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia¹ koolagina@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6866-0564² kulagin-aa@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3107-1904

Abstract. Objective to provide a scientific substantiation for the selection of *Populus* L. species for phytoremediation and landscaping of industrial cities by systematizing the mechanisms of their resistance to technogenic stressors. A systematic review and comparative analysis of Russian and foreign publications (1990–2025) from the RSCI, Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases was carried out. Synthesis of data on anatomical, morphological, physiological, biochemical and molecular genetic adaptations of six species and one hybrid form of poplar was performed. The genus *Populus* possesses a unique combination of features: growth rate (current annual increment up to 3,5 m³·ha⁻¹·yr⁻¹), multivalent resistance, and species-specific phytoremediation strategies. *P. nigra* accumulates Zn (up to 380 mg·kg⁻¹) and Cd (translocation factor >1); *P. alba* phytostabilizes Cu and Pb (translocation factor 0,15–0,25); *P. balsamifera* exhibits anatomical plasticity (leaf thickening by 18–25 %). Four basic adaptive strategies were identified: physiological tolerance (*P. balsamifera*), avoidance/exclusion (*P. alba*), accumulation (*P. nigra*), biochemical defense (*P. tremula*), as well as a combined strategy of hybrids (*P. nigra* × *P. nigra* f. *italica*). The transition from extensive use of “poplar in general” to scientifically based, species-specific selection of genotypes is a strategic decision for the formation of a sustainable ecological framework of industrial cities. The results provide a basis for the development of regional landscaping standards and phytoremediation measures.

Keywords: *Populus*, poplar, urban ecosystem, phytoremediation, technogenic pollution, heavy metals, salinization, adaptive strategy, ecological plasticity, urban landscaping

Funding: the research was supported by the Scientific and Technological Development Fund of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra (project № 2025-604-04 “Fundamental and applied aspects of ecology and nature management of Western Siberia and adjacent territories”).

For citation: Kulagina L. S., Kulagin A. A. The genus *Populus* L. as a key component of the phytoremediation potential of urban ecosystems: resistance mechanisms and adaptive strategies // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 39–52.

Введение

Функционирование промышленных урбоэкосистем происходит в условиях комплексной техногенной нагрузки: поликомпонентное загрязнение атмосферы и почв, засоление, аридизация, нарушение биогеохимических циклов (Иванова, 2016; Стояшева, Лебедева, 2020; Nowak et al., 2006). Зеленые насаждения из элемента благоустройства трансформируются в ключевой компонент экологического каркаса, обеспечивающий средообра-

зующие, санирующие и рекреационные функции (Бессчетнова, Бессчетнов, 2021). Древесные растения испытывают воздействие стрессоров, не имеющих аналогов в естественных местообитаниях: тяжелые металлы (Pb, Zn, Cd, Cu), оксиды серы и азота, хлориды противогололедных реагентов, хронический водный дефицит, ослабление иммунитета с последующим поражением патогенами (Уразгильдин, Кулагин, 2021; Рыбакова, Кулагин, 2014; Гарус и др., 2023). Актуальная задача –

научно обоснованный подбор видов, способных в экстремальных условиях сохранять высокую функциональную активность.

Род *Populus* L. десятилетиями рассматривается как перспективный для интродукции в промышленные зоны (The domestication..., 2014; Pulford, Watson, 2003). Однако историческое использование носило интуитивный характер, что приводило к низкой долговечности насаждений, массовому усыханию, «пуховой проблеме» и экономическим потерям (Дендрохронологический анализ..., 2019; Гиниятуллин, 2021; Особенности формирования..., 2023). Современный этап требует перехода к научно обоснованному, генетически целевому использованию потенциала рода.

Цель, объекты и методика исследований

Цель работы – на основе комплексного анализа литературы дать научное обоснование выбора представителей рода *Populus* для фиторемедиации и озеленения промышленных центров.

Задачи:

1) проанализировать специфику стрессовых факторов урбоэкосистем и сформулировать требования к растениям-фиторемедиантам;

2) систематизировать данные о биологических свойствах рода *Populus*, обуславливающих его фиторемедиационный потенциал;

3) выявить и классифицировать видоспецифичные адаптивные стратегии и механизмы устойчивости основных видов и гибридной формы;

4) обобщить мировой и отечественный опыт, выделив принципы успешного применения и типичные ошибки.

Объекты исследования – виды *Populus balsamifera* L., *P. nigra* L., *P. alba* L., *P. tremula* L., *P. maximowiczii* A. Henry, гибрид *P. nigra* L. × *P. nigra* f. *italica* Duroi.

Методология исследования включала в себя систематический обзор и аналитический синтез данных рецензируемых публикаций (1990–2025 гг.) из РИНЦ, Scopus, WoS, Google Scholar. Приоритет – долгосрочные мониторинговые исследования *in situ*.

1. Специфика стрессовых факторов урбоэкосистем и требования к фиторемедиантам

Древесная растительность в урбоэкосистемах подвергается синергетическому воздействию разнородных стрессоров (Harfouche et al., 2014; Abiotic stresses..., 2014).

Комплексное химическое загрязнение. Для городов с нефтехимией, металлургией характерно сочетанное загрязнение тяжелыми металлами (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni), SO₂, NO_x, органическими поллютантами, PM_{2.5}/PM₁₀ (Кулагин и др., 2011; Аккумуляция металлов..., 2015; Heavy metal accumulation..., 2007). В Уфимском промцентре у *P. balsamifera* индекс жизнестойкости в санитарно-защитных зонах составляет 31,1–57,6 % против 82,6–92,5 % в селитебных зонах (Уразгильдин, Кулагин, 2021).

Засоление почвогрунтов. Применение хлоридов Na и Ca приводит к накоплению солей до 200–500 мг/кг, вызывая осмотический стресс, ионную токсичность, дефицит K⁺ и Ca²⁺ (Leaf morphological plasticity..., 2009; Chen, Polle, 2010; Imada et al., 2009).

Аридизация и нарушение водного режима. Уплотнение почвы, асфальтирование, отвод стоков создают условия хронического водного стресса. У *P. balsamifera* в Уфе возрастает водный дефицит, нарушается транспирация (Рыбакова, Кулагин, 2015; Impact of drought..., 2006).

Биотические стрессоры. Ослабленные техногенезом деревья поражаются патогенами: в Братске >50 % *P. balsamifera* поражены стволовыми гнилями (Гарус и др., 2023), в Воронеже – мокрым раком, цитоспорозом (Зимарин, Кочергина, 2025).

Идеальный фиторемедиант должен обладать: полирезистентностью к комплексу поллютантов; устойчивостью к засолению и засухе; быстрым ростом и высокой биомассой; сохранением декоративности; долговечностью (Phytoremediation of organic..., 1995; Poplars and Willows..., 2014). Род *Populus* максимально соответствует этим требованиям.

2. Биологические свойства рода *Populus* как основа фиторемедиационного потенциала

Феноменальная скорость роста. Тополя – лидеры по скорости первичного роста среди

древесных умеренной зоны. В Уфе *P. balsamifera* в 30 лет имеет запас 128 м³/га при текущем приросте 2,8 м³/га/год, *P. nigra* в 61 год – 253 м³/га с приростом 3,5 м³/га/год (Лесные экосистемы..., 2015; Ceulemans, Deraedt, 1999).

Видоспецифичный фиторемедиационный потенциал. Виды демонстрируют различные стратегии (Responses of the *Populus*..., 2009). *P. balsamifera* аккумулирует Pb (45–65 мг/кг), Zn (320–480), Cd (2,1–3,8) (Гиниятуллин, 2021). *P. nigra* – концентратор Zn (до 380 мг/кг) и Cd (Clonal variation..., 2004; Metal tolerance..., 2009; Physiology and genetic architecture..., 2016; Шихова, 2022). *P. alba* фитостабилизирует Cu и Pb (коэффициент транслокации 0,15–0,25), связывая их в корнях и коре (Rossi, Brunetti, 2021; White poplar..., 2004). Крупная или опушенная листовая поверхность (*P. alba*) эффективно улавливает PM2.5/PM10 (Петров, 2020; Бессчетнова, Бессчетнов, 2021).

Экологическая пластичность. У *P. balsamifera* в условиях загрязнения отмечено утолщение листовой пластинки на 18–25 %, эпидермиса – на 15–20 %, кутикулы – на 25–30 % (Егорова, Ку-

лагин, 2007; Кулагин, Кужлева, 2005). *P. nigra* проявляет геномную пластичность: контрастные транскриптомные ответы на засуху у разных экотипов (Adaptive mechanisms..., 2016; Phenotypic plasticity..., 2012). *P. tremula* полиморфна по сапониноидным гликозидам (Phenotypic variation..., 2023).

Научная база. Для Уфы и Башкортостана сформирован уникальный массив данных (>40 лет) по экологии тополей (Уразгильдин, 1998; Особенности формирования..., 2023), позволяющий проводить сравнительный анализ и оценку долгосрочных трендов.

3. Видоспецифичные адаптивные стратегии видов рода *Populus*

Проведенный системный анализ позволил дифференцировать эволюционно закрепленные адаптивные стратегии (табл. 1). Выделены четыре базовые стратегии: физиологическая толерантность (*P. balsamifera*), избегание/эксклюзия (*P. alba*), аккумуляция (*P. nigra*), биохимическая защита (*P. tremula*), а также комбинированная стратегия гибридов (*P. nigra* × *P. nigra* f. *italica*). *P. maximowiczii* занимает промежуточное положение.

Таблица 1
Table 1

Адаптивные стратегии видов рода *Populus* в условиях техногенного стресса
Adaptive strategies of *Populus* species under technogenic stress

Вид / гибрид Species / hybrid	Доминирующая адаптивная стратегия Dominant adaptive strategy	Фиторемедиационная специализация Phytoremediation specialization
<i>P. balsamifera</i> L.	Физиологическая толерантность Physiological tolerance	Аккумуляция широкого спектра ТМ (Pb, Zn, Cd, Mn). Эффективный пылеуловитель. Высокая продуктивность Accumulation of a wide range of heavy metals (Pb, Zn, Cd, Mn). Effective dust collector. High productivity
<i>P. alba</i> L.	Избегание (эксклюзия), фитостабилизация Avoidance (exclusion), phytostabilization	Фитостабилизация Cu, Pb. Наивысшая эффективность улавливания PM2.5/PM10. Устойчив к засолению Phytostabilization of Cu, Pb. Highest efficiency in PM2.5/PM10 capture. Salinization-tolerant
<i>P. nigra</i> L.	Аккумуляция, геномная пластичность Accumulation, genomic plasticity	Фитоэкстракция Zn и Cd. Аккумуляция As, U. Перспективен для селекции клонов-аккумуляторов Phytoextraction of Zn and Cd. Accumulation of As, U. Promising for selection of accumulator clones
<i>P. tremula</i> L.	Биохимическая защита Biochemical defense	Фитостабилизация. Устойчивость к комплексному нефтехимическому загрязнению Phytostabilization. Tolerant to complex petrochemical pollution

Окончание табл. 1
The end of the table 1

Вид / гибрид Species / hybrid	Доминирующая адаптивная стратегия Dominant adaptive strategy	Фиторемедиационная специализация Phytoremediation specialization
<i>P. maximowiczii</i> A. Henry	Активная аккумуляция + быстрый рост Active accumulation + fast growth	Фитоэкстракция Zn, Co. Перспективен для интродукции в европейской части России Phytoextraction of Zn, Co. Promising for introduction in European Russia
<i>P. nigra</i> L. × <i>P. nigra</i> f. <i>italica</i> Duroi	Комбинированная / синтетическая Combined / synthetic	Универсальное применение. Высокая устойчивость, декоративность, отсутствие пуха (мужские клоны) Universal application. High resistance, ornamentality, absence of fluff (male clones)

Каждой стратегии соответствует специфический набор морфо-анатомических, физиолого-биохимических и молекулярно-генетических механизмов (табл. 2).

Обобщенное представление о взаимосвязях стрессоров, видов, стратегий и механизмов дает концептуальная схема (рисунок).

Анализ показывает, что разнообразие стратегий внутри рода предоставляет широкий ин-

струментарий для фиторемедиации: от фитоэкстракции Zn/Cd (*P. nigra*, *P. maximowiczii*) до фитостабилизации и пылепоглощения (*P. alba*) и создания долговечных насаждений (*P. balsamifera*, гибриды). Отсутствие идентифицированных молекулярно-генетических механизмов у *P. balsamifera* и *P. maximowiczii* определяет перспективные направления исследований.

Таблица 2
Table 2

Конкретные механизмы устойчивости видов рода *Populus* к техногенным стрессорам
Specific resistance mechanisms of *Populus* species to technogenic stressors

Вид / гибрид Species / hybrid	Морфо-анатомические механизмы Morpho-anatomical mechanisms	Физиолого-биохимические механизмы Physiological-biochemical mechanisms	Молекулярно-генетические механизмы Molecular genetic mechanisms
<i>P. balsamifera</i>	Утолщение листовой пластинки на 18–25 %, эпидермиса – на 15–20 %, кутикулы – на 25–30 %; усиление механических тканей Leaf blade thickening by 18–25 %, epidermis – by 15–20 %, cuticle – by 25–30 %; strengthening of mechanical tissues	Относительная стабильность фотосинтеза при снижении хлорофиллов на 25–40 %; повышенная транспирация Relative stability of photosynthesis with chlorophyll decrease by 25–40 %; increased transpiration	Не идентифицированы Not identified
<i>P. alba</i>	Густое войлочное опушение трихом (физический барьер) Dense tomentose pubescence of trichomes (physical barrier)	Иммобилизация ТМ в апопласте корней и вакуолях; низкий коэффициент транслокации (Cu 0,15–0,25); антиоксидантная защита, осморегуляция Immobilization of HMs in root apoplast and vacuoles; low translocation factor (Cu 0,15–0,25); antioxidant defense, osmoregulation	Генотипическая вариабельность солеустойчивости Genotypic variability of salt tolerance

Окончание табл. 2
The end of the table 2

Вид / гибрид Species / hybrid	Морфо-анатомические механизмы Morpho-anatomical mechanisms	Физиолого-биохимические механизмы Physiological-biochemical mechanisms	Молекулярно-генетические механизмы Molecular genetic mechanisms
<i>P. nigra</i>	—	Хелатирование металлов фитохелатинами; депонирование в вакуолях листьев Chelation of metals by phytochelatins; deposition in leaf vacuoles	Широкий полиморфизм; контрастные транскриптомные ответы на засуху и ТМ у разных экотипов Wide polymorphism; contrasting transcriptomic responses to drought and HMs in different ecotypes
<i>P. tremula</i>	Особенности строения луба и коры Structural features of bast and bark	Высокая концентрация саликортина, тремулацина, конденсированных танинов; индукция синтеза салициноидов (в 8,4 раза) (Phenotypic variation..., 2023) High concentration of salicortin, tremulacin, condensed tannins; induction of salicinoid synthesis (8,4-fold)	Генетическая изменчивость фенольных гликозидов Genetic variability of phenolic glycosides
<i>P. maximowiczii</i>	Быстрый рост в молодом возрасте Fast growth at young age	Аккумуляция Zn (до 440 мг/кг) и Co Accumulation of Zn (up to 440 mg·kg ⁻¹) and Co	Не идентифицированы Not identified
<i>P. nigra</i> × <i>P. nigra</i> f. <i>italica</i>	Узкопирамидальная крона, плотное ветвление Narrow pyramidal crown, dense branching	Гетерозис (повышенная энергия роста и жизнеспособность) Heterosis (increased growth energy and viability)	Сочетание геномов родительских видов Combination of genomes of parental species

4. Принципы успешного применения тополей в фиторемедиации: синтез мирового опыта

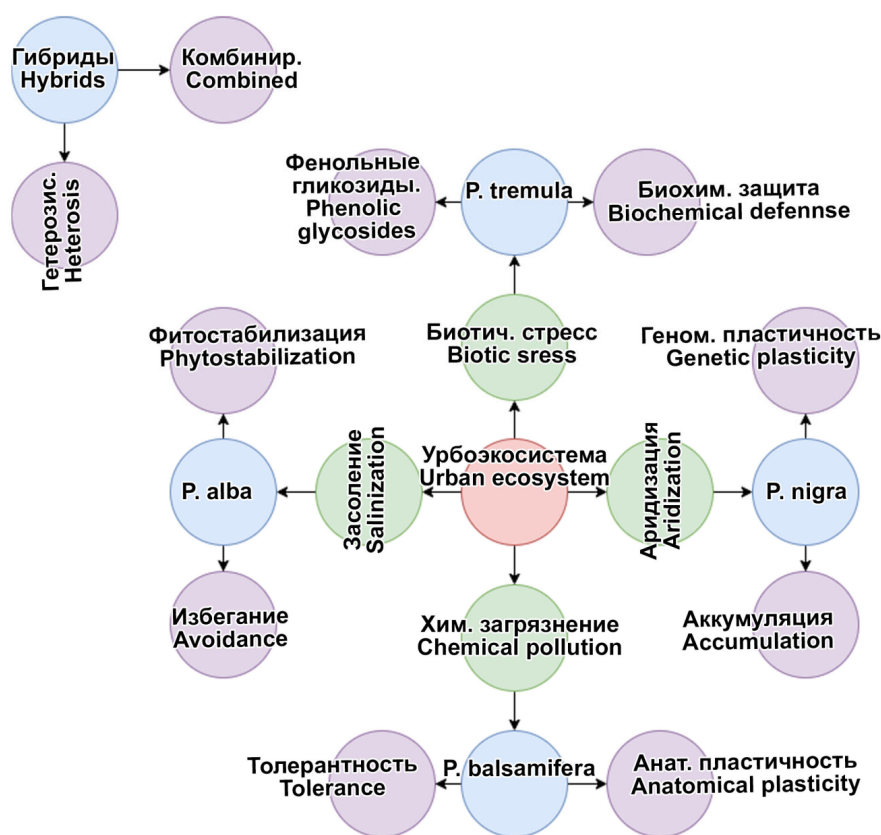
Принцип видоспецифичности и клоноспецифичности. Успех на 90 % зависит от целевого подбора генотипа под конкретный тип загрязнения (Cd/Zn – *P. nigra*; засоление – *P. alba*; комплексное – *P. balsamifera*, *P. tremula*) (Responses of the Populus..., 2009; Мушинская, 2007; Growth, physiology..., 2019).

Учет региональной модели. Североамериканская модель (масштабная ремедиация *P. balsamifera*, *P. deltoides*) отличается от европейской (компактные постиндустриальные площадки, клоны *P. nigra*, *P. trichocarpa*) и азиатской (борьба с пылью) (The domestication..., 2014; Large-scale poplar plantations..., 2019; Metal accumulation..., 2012).

Для России необходим гибридный подход с опорой на местные научные школы.

Ориентация на полифункциональные генотипы. Современная селекция создает «умные» клоны с множественной устойчивостью, высокими темпами роста, управляемой кроной, мужским полом (El-Khatib et al., 2020; Harfouche et al., 2014; Comparative study..., 2025; Liesebach et al., 2025).

Экономическое обоснование. Игнорирование полной стоимости жизненного цикла (замена каждые 30–50 лет, уборка пуха, защита от вредителей) ведет к бюджетным потерям (Блонская и др., 2020; Татаринцев, 2020). Инвестиции в научно подобранный ассортимент окупаются в долгосрочной перспективе.



Концептуальная схема адаптивных стратегий и механизмов устойчивости видов рода *Populus* в условиях техногенного стресса урбоэкосистем. Стрелками показаны причинно-следственные связи; цветом выделены иерархические уровни: красный – источник стресса, зеленый – абиотические стрессоры, синий – виды и гибриды, фиолетовый – стратегии и механизмы

Conceptual scheme of adaptive strategies and resistance mechanisms of *Populus* species under technogenic stress of urban ecosystems. Arrows indicate cause-effect relationships; colors mark hierarchical levels: red – stress source, green – abiotic stressors, blue – species and hybrids, purple – strategies and mechanisms

Род *Populus* представляет собой уникальную модельную систему для изучения адаптаций древесных к экстремальным условиям урбоэкосистем (Rood et al., 2003; The genome..., 2006). Разнообразие стратегий – от активной аккумуляции (*P. nigra*) до жесткой эксклюзии (*P. alba*) и биохимической обороны (*P. tremula*) – предоставляет дифференцированный инструментарий для фиторемедиации (A framework..., 2006).

Ключевой вывод для практики: необходим отказ от подхода «тополь вообще». Для каждой конкретной ситуации (тип загрязнения, функциональная зона, климат) должен выбираться конкретный вид или сертифицированный клон. Вдоль засоленной магистрали непригоден *P. nigra*, но эф-

фективны солеустойчивые экотипы *P. balsamifera* или *P. alba* (Мушинская, 2007; Response to sodium chloride..., 2005). На территории бывшего металлургического завода с высоким содержанием Zn/Cd – клоны-аккумуляторы *P. nigra* или *P. maximowiczii* (Clonal variation..., 2004; Шихова, 2022). В санитарно-защитной зоне нефтехимии – *P. tremula* или гибрид *P. nigra* × *P. nigra* f. *italica*.

Накопленный в Уфе массив данных создает основу для прецизионного подхода. Выявлены научно-практические пробелы:

1) недостаток сравнительных исследований всех шести таксонов по единой методике на одной территории;

2) слабое внедрение методов ранней диагностики стресса (флуктуирующая асимметрия, морфометрия устьиц);

3) необходимость системной интеграции с мировыми селекционными достижениями для интродукции полирезистентных генотипов (Genetics and conservation..., 2025).

Выводы

1. Комплекс стрессоров промышленного города формирует жесткие требования к фиторемедиантам: полирезистентность, быстрый рост, сохранение функциональной активности, долговечность.

2. Род *Populus* обладает уникальным сочетанием свойств: рекордная скорость роста (до 3,5 м³/га/год), видоспецифичный фиторемедиационный потенциал, высокая экологическая пластичность.

3. Установлены четыре базовые адаптивные стратегии: физиологическая толерантность и анатомическая пластичность (*P. balsamifera*); избегание и фитостабилизация (*P. alba*); аккумуляция и геномная пластичность (*P. nigra*); биохимическая защита (*P. tremula*). Гибридные формы реализуют комбинированную стратегию.

4. Успешное применение тополей базируется на принципах видоспецифичности, клоноспецифичности, учета региональных условий и экономического обоснования.

5. Необходим переход от экстенсивных посадок случайного генотипического состава к созданию научно обоснованных, адресно подобранных популяций для формирования устойчивого экологического каркаса городов.

Список источников

- Аккумуляция металлов в растениях урбоэкосистем / П. В. Масленников, В. П. Дедков, М. В. Куркина [и др.] // Бюллетень Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. № 1. С. 57–69.
- Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов П. В. Дифференциация пылезадерживающей способности кроны тополей // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 5. С. 48–64.
- Блонская Л. Н., Ишибирдина Л. М., Габделхаков А. К. Рост тополя башкирского пирамидального в защитных насаждениях Предуралья // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2020. № 4. С. 20–26.
- Гарус И. А., Рунова Е. М., Орлова Ю. В. Оценка состояния тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в зеленых насаждениях Братска // Природообустройство. 2023. № 4. С. 103–109.
- Гиниятуллин Р. Х. Оценка средоочищающего потенциала тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях промышленного загрязнения // ЭкоБиоТех. Уфа, 2021. С. 197–201.
- Дендрохронологический анализ величины годичного прироста тополя башкирского пирамидального (*Populus nigra* L. × *P. nigra* f. *italica* Duroi) в урболандшафтах / Л. Н. Блонская, С. И. Муфтахова, С. И. Конашова, Л. М. Ишибирдина // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 2. С. 6–15.
- Егорова Н. Н., Кулагин А. А. Особенности строения ассимилирующих органов лесообразующих видов в техногенных условиях // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2007. Т. 16, № 3 (21). С. 463–476.
- Зимарин М. С., Кочергина М. В. Состояние тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в насаждениях придомовых территорий города Воронежа // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XXI Всерос. науч.-техн. конф. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 173–177.
- Иванова А. С. Адаптивные особенности листового аппарата древесных растений в условиях городской среды // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. № 5 (193). С. 44–49.
- Кулагин А. А., Кужлева Н. Г. Об анатомических изменениях, происходящих в листьях *Populus balsamifera* L. на фоне избыточного содержания металлов в окружающей среде // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2005. Т. 7, № 1. С. 194–198.

- Кулагин А. А., Бакиев И. Ф., Мушинский А. А. Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) в экстремальных условиях произрастания на территории Республики Башкортостан // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2011. № 4. С. 74–76.
- Лесные экосистемы Республики Башкортостан / А. Ю. Кулагин, Г. А. Зайцев, О. В. Тагирова [и др.]. Уфа : Изд-во БГПУ им. М. Акмуллы, 2015. 163 с.
- Мушинская О. А. Биоэкологические особенности видов рода *Populus* L. в условиях степной зоны Южного Урала (на примере г. Оренбурга) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Мушинская Ольга Алексеевна. Оренбург, 2007. 25 с.
- Особенности формирования ландшафтно-природных комплексов в промышленных городах Предуралья / А. Ю. Кулагин, О. В. Тагирова, Р. В. Уразгильдин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1 (84). С. 4–18.
- Петров Д. С. Роль древесных растений в депонировании аэрозольных загрязнителей в условиях промышленного центра (на примере г. Ростова-на-Дону) : дис. ... канд. биол. наук / Петров Д. С. Ростов н/Д, 2020. 165 с.
- Рыбакова Е. А., Кулагин А. А. Особенности водного режима тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в течение вегетационного периода на территории г. Уфы Республики Башкортостан // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4 (1). С. 128–130.
- Рыбакова Е. А., Кулагин А. А. Особенности содержания основных пигментов фотосинтеза в листьях тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в течение вегетационного периода на территории города Уфы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1 (3). С. 807–811.
- Стояшева Н. В., Лебедева А. А. Роль зеленых насаждений в улучшении микроклимата урбанизированных территорий // Urban Ecology. 2020. № 1 (15). С. 28–35.
- Татаринцев А. И. Эколого-лесоводственные особенности санитарно-фитопатологического состояния антропогенно нарушенных насаждений Средней Сибири : дис. ... д-ра биол. наук / Татаринцев Андрей Иванович. Красноярск : СибГТУ, 2020. 336 с.
- Уразгильдин Р. В. Эколого-биологическая характеристика тополей в условиях загрязнения окружающей среды (на примере Уфимского промышленного центра) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Уразгильдин Руслан Вилисович. Уфа, 1998. 22 с.
- Уразгильдин Р. В., Кулагин А. Ю. Техногенез и структурно-функциональные реакции древесных видов: повреждения, адаптации, стратегии. Ч. 2: Влияние на физиологические функции // Биосфера. 2021. Т. 13, № 3. С. 101–119.
- Шихова Н. С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении // Вестник ДВО РАН. 2022. № 2. С. 17–36.
- A framework for community and ecosystem genetics: from genes to ecosystems / T. G. Whitham, J. K. Bailey, J. A. Schweitzer [et al.] // Nature Reviews Genetics. 2006. Vol. 7. P. 510–523.
- Abiotic stresses / N. Marron, B. Gielen, F. Brignolas [et al.] // Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment / Eds. J. G. Isebrands, J. Richardson. Wallingford : CABI ; Rome : FAO, 2014. P. 337–442.
- Adaptive mechanisms and genomic plasticity for drought tolerance identified in European black poplar (*Populus nigra* L.) / M. Viger, H. K. Smith, D. Cohen [et al.] // Tree Physiology. 2016. Vol. 36. P. 909–928.
- Ceulemans R., Deraedt W. Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture // Forest Ecology and Management. 1999. Vol. 121. P. 9–23.
- Chen S., Polle A. Salinity tolerance of poplar // Plant Biology. 2010. Vol. 12. P. 317–333.
- Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture: I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations / I. Laureysens, R. Blust, L. De Temmerman [et al.] // Environmental Pollution. 2004. Vol. 131. P. 485–494.

- Comparative study on growth characteristics and early selection efficiency of hybrid offspring of *Populus deltoides* 'DD-109' and *P. maximowiczii* in Liaoning, China / *W. Liu, C. Liu, Y. Zhang* [et al.] // *Plants*. 2025. Vol. 14. P. 111.
- El-Khatib A. A., Donia A. M., Youssef M. S.* Phytoremediation efficiency of *Populus* sp. for heavy metals in soil contaminated by industrial activities // *International Journal of Phytoremediation*. 2020. Vol. 22. P. 715–725.
- Genetics and conservation of fast-growing trees: adaptation, drift, selection, biotechnology, genetic pollution and habitat shrinkage / *I. Beritognolo, M. Liesebach, L. Rosso* [et al.] // *Innovative practices in the sustainable management of fast-growing trees*. Rome : FAO, 2025. P. 41–60.
- Growth, physiology, and phytoextraction potential of poplar and willow established in soils amended with heavy-metal contaminated, dredged river sediments / *A. Pilipović, R. S. Zalesny, S. Rončević* [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 239. P. 352–365.
- Harfouche A., Meilan R., Altman A.* Molecular and physiological responses to abiotic stress in forest trees and their relevance to tree improvement // *Tree Physiology*. 2014. Vol. 34, № 11. P. 1181–1198.
- Heavy metal accumulation in trees growing on contaminated sites in Central Europe / *R. Unterbrunner, M. Puschenreiter, P. Sommer* [et al.] // *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 148. P. 107–114.
- Imada S., Yamanaka N., Tamai S.* Effects of salinity on the growth, Na partitioning, and Na dynamics of a salt-tolerant tree, *Populus alba* L. // *Journal of Arid Environments*. 2009. Vol. 73. P. 245–251.
- Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *Populus nigra* / *R. Monclus, E. Dreyer, M. Villar* [et al.] // *New Phytologist*. 2006. Vol. 169. P. 765–777.
- Large-scale poplar plantations for ecological restoration in Northern China / *Y. Zhang, J. Wang, Z. Liu, W. Yang* // *Ecological Engineering*. 2019. Vol. 132. P. 45–52.
- Leaf morphological plasticity and stomatal conductance in three *Populus alba* L. genotypes subjected to salt stress / *G. Abbruzzese, I. Beritognolo, R. Muleo* [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. 2009. Vol. 66. P. 381–388.
- Liesebach M., Bostanci S., Zalesny Jr. R. S.* Poplar breeding / Eds. Jr. R. S. Zalesny [et al.] // *Innovative practices in the sustainable management of fast-growing trees*. Rome : FAO, 2025. P. 61–78.
- Metal accumulation by woody species on contaminated sites in the North of France / *A. Migeon, P. Richaud, F. Guinet* [et al.] // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2012. Vol. 223. P. 2015–2024.
- Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics / *M. Zacchini, F. Pietrini, G. Scarascia Mugnozza* [et al.] // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2009. Vol. 197, № 1–4. P. 23–34.
- Nowak D. J., Crane D. E., Stevens J. C.* Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2006. Vol. 4. P. 115–123.
- Phenotypic plasticity, QTL mapping and genomic characterization of bud set in black poplar / *F. Fabbrini, M. Gaudet, C. Bastien* [et al.] // *BMC Plant Biology*. 2012. Vol. 12. P. 47.
- Phenotypic variation in phytochemical defense of trembling aspen in Western North America: genetics, development, and geography / *R. L. Lindroth, S. C. Wooley, J. R. Donaldson* [et al.] // *Journal of Chemical Ecology*. 2023. Vol. 49. P. 235–250.
- Physiology and genetic architecture of traits associated with cadmium tolerance and accumulation in *Populus nigra* L. / *V. Iori, M. Gaudet, F. Fabbrini* [et al.] // *Trees*. 2016. Vol. 30. P. 125–139.
- Phytoremediation of organic and nutrient contaminants / *J. L. Schnoor, L. A. Licht, S. C. McCutcheon* [et al.] // *Environmental Science & Technology*. 1995. Vol. 29. P. 318–323.
- Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment / Eds. J. G. Isebrands, J. Richardson. Wallingford : CABI ; Rome : FAO, 2014. 992 p.
- Pulford I. D., Watson C.* Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review // *Environment International*. 2003. Vol. 29. P. 529–540.

- Response to sodium chloride in different species and clones of genus *Populus* L. / H. Sixto, J. M. Grau, N. Alba, R. Alía // Forestry. 2005. Vol. 78. P. 93–98.
- Responses of the *Populus* × *euramericana* clone I-214 to excess zinc: carbon assimilation, structural modifications, metal distribution and cellular localization / D. Di Baccio, R. Tognetti, A. Minnocci, L. Sebastiani // Environmental and Experimental Botany. 2009. Vol. 67, № 1. P. 153–163.
- Rood S. B., Braatne J. H., Goater L. A. Flows for floodplain forests: a successful riparian restoration // BioScience. 2003. Vol. 53, № 7. P. 647–656.
- Rossi F., Brunetti L. Copper distribution in root and shoot tissues of *Populus alba* grown in a contaminated soil // Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28. P. 123–134.
- The domestication and conservation of *Populus* genetic resources / B. J. Stanton, M. J. Serapiglia, L. B. Smart [et al.] // Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment / Eds. J. G. Isebrands, J. Richardson. Wallingford : CABI ; Rome : FAO, 2014. P. 124–199.
- The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray) / G. A. Tuskan, S. DiFazio, S. Jansson [et al.] // Science. 2006. Vol. 313. P. 1596–1604.
- White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests / P. Madejón, T. Marañón, J. M. Murillo, B. Robinson // Environmental Pollution. 2004. Vol. 132. P. 145–155.

References

- A framework for community and ecosystem genetics: from genes to ecosystems / T. G. Whitham, J. K. Bailey, J. A. Schweitzer [et al.] // Nature Reviews Genetics. 2006. Vol. 7. P. 510–523.
- Abiotic stresses / N. Marron, B. Gielen, F. Brignolas [et al.] // Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment / Eds. J. G. Isebrands, J. Richardson. Wallingford : CABI ; Rome : FAO, 2014. P. 337–442.
- Accumulation of metals in plants of urban ecosystems / P. V. Maslennikov, V. P. Dedkov, M. V. Kurkina [et al.] // Bulletin of the Immanuel Kant Baltic Federal University. 2015. № 1. P. 57–69. (In Russ.)
- Adaptive mechanisms and genomic plasticity for drought tolerance identified in European black poplar (*Populus nigra* L.) / M. Viger, H. K. Smith, D. Cohen [et al.] // Tree Physiology. 2016. Vol. 36. P. 909–928.
- Besschetnova N. N. Differentiation of the dust-retention capacity of poplar crowns // News of universities. Forestry journal. 2021. № 5. P. 48–64. (In Russ.)
- Blonskaya L. N., Ishbirdina L. M., Gabdelkhakov A. K. Growth of Bashkir pyramidal poplar in protective plantations of the Cis-Urals // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2020. № 4. P. 20–26. (In Russ.)
- Ceulemans R., Deraedt W. Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture // Forest Ecology and Management. 1999. Vol. 121. P. 9–23.
- Characteristics of landscape-natural complex formation in industrial cities of the Cis-Urals / A. Yu. Kulagin, O. V. Tagirova, R. V. Urazgil'din [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 1 (84). P. 4–18. (In Russ.)
- Chen S., Polle A. Salinity tolerance of poplar // Plant Biology. 2010. Vol. 12. P. 317–333.
- Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture: I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations / I. Laureysens, R. Blust, L. De Temmerman [et al.] // Environmental Pollution. 2004. Vol. 131. P. 485–494.
- Comparative study on growth characteristics and early selection efficiency of hybrid offspring of *Populus deltoides* ‘DD-109’ and *P. maximowiczii* in Liaoning, China / W. Liu, C. Liu, Y. Zhang [et al.] // Plants. 2025. Vol. 14. P. 111.
- Dendrochronological analysis of the annual increment of Bashkir pyramidal poplar (*Populus nigra* L. × *P. nigra* f. *italica* Duroi) in urban landscapes / L. N. Blonskaya, S. I. Muftakhova, S. I. Konashova, L. M. Ishbirdina // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2019. № 2. P. 6–15. (In Russ.)

- Egorova N. N., Kulagin A. A. Features of the structure of assimilating organs of forest-forming species under technogenic conditions // Samara Luka: problems of regional and global ecology. 2007. Vol. 16, № 3 (21). P. 463–476. (In Russ.)
- El-Khatib A. A., Donia A. M., Youssef M. S. Phytoremediation efficiency of *Populus* sp. for heavy metals in soil contaminated by industrial activities // International Journal of Phytoremediation. 2020. Vol. 22. P. 715–725.
- Forest ecosystems of the Republic of Bashkortostan / A. Yu. Kulagin, G. A. Zaitsev, O. V. Tagirova [et al.]. Ufa : Publishing house BSPU im. M. Akmully, 2015. 163 p.
- Garus I. A., Runova E. M., Orlova Yu. V. Assessment of the condition of balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) in green spaces of Bratsk // Nature management. 2023. № 4. P. 103–109. (In Russ.)
- Genetics and conservation of fast-growing trees: adaptation, drift, selection, biotechnology, genetic pollution and habitat shrinkage / I. Beritognolo, M. Liesebach, L. Rosso [et al.] // Innovative practices in the sustainable management of fast-growing trees. Rome : FAO, 2025. P. 41–60.
- Giniyatullin R. Kh. Assessment of the environment-purifying potential of balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) under industrial pollution // EcoBioTech. Ufa, 2021. P. 197–201. (In Russ.)
- Growth, physiology, and phytoextraction potential of poplar and willow established in soils amended with heavy-metal contaminated, dredged river sediments / A. Pilipović, R. S. Zalesny, S. Rončević [et al.] // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 239. P. 352–365.
- Harfouche A., Meilan R., Altman A. Molecular and physiological responses to abiotic stress in forest trees and their relevance to tree improvement // Tree Physiology. 2014. Vol. 34, № 11. P. 1181–1198.
- Heavy metal accumulation in trees growing on contaminated sites in Central Europe / R. Unterbrunner, M. Puschenreiter, P. Sommer [et al.] // Environmental Pollution. 2007. Vol. 148. P. 107–114.
- Imada S., Yamanaka N., Tamai S. Effects of salinity on the growth, Na partitioning, and Na dynamics of a salt-tolerant tree, *Populus alba* L. // Journal of Arid Environments. 2009. Vol. 73. P. 245–251.
- Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *Populus nigra* / R. Monclus, E. Dreyer, M. Villar [et al.] // New Phytologist. 2006. Vol. 169. P. 765–777.
- Ivanova A. S. Adaptive Features of the Leaf Apparatus of Woody Plants in Urban Environments // Bulletin of Orenburg State University. 2016. № 5 (193). P. 44–49. (In Russ.)
- Kulagin A. A., Bakiev I. F., Mushinsky A. A. Balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) under extreme growing conditions in the Republic of Bashkortostan // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2011. № 4. P. 74–76. (In Russ.)
- Kulagin A. A., Kuzhleva N. G. On anatomical changes occurring in the leaves of *Populus balsamifera* L. against the background of excess metal content in the environment // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2005. Vol. 7, № 1. P. 194–198. (In Russ.)
- Large-scale poplar plantations for ecological restoration in Northern China / Y. Zhang, J. Wang, Z. Liu, W. Yang // Ecological Engineering. 2019. Vol. 132. P. 45–52.
- Leaf morphological plasticity and stomatal conductance in three *Populus alba* L. genotypes subjected to salt stress / G. Abbruzzese, I. Beritognolo, R. Muleo [et al.] // Environmental and Experimental Botany. 2009. Vol. 66. P. 381–388.
- Liesebach M., Bostanci S., Zalesny Jr. R. S. Poplar breeding / Eds. Jr. R. S. Zalesny [et al.] // Innovative practices in the sustainable management of fast-growing trees. Rome : FAO, 2025. P. 61–78.
- Metal accumulation by woody species on contaminated sites in the North of France / A. Migeon, P. Richaud, F. Guinet [et al.] // Water, Air, & Soil Pollution. 2012. Vol. 223. P. 2015–2024.
- Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics / M. Zacchini, F. Pietrini, G. Scarascia Mugnozza [et al.] // Water, Air, & Soil Pollution. 2009. Vol. 197, № 1–4. P. 23–34.

- Mushinskaya O. A.* Bioecological characteristics of *Populus* L. species in the Southern Ural steppe zone (with Orenburg as an example) : author's abstract of Cand. Sci. (Biol.) diss. Orenburg, 2007. 25 p.
- Nowak D. J., Crane D. E., Stevens J. C.* Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2006. Vol. 4. P. 115–123.
- Petrov D. S.* The role of woody plants in the deposition of aerosol pollutants in an industrial center (with Rostov-on-Don as an example): Cand. Sci. (Biol.) diss. Rostov-on-Don, 2020. 165 p.
- Phenotypic plasticity, QTL mapping and genomic characterization of bud set in black poplar / *F. Fabbrini, M. Gaudet, C. Bastien* [et al.] // *BMC Plant Biology*. 2012. Vol. 12. P. 47.
- Phenotypic variation in phytochemical defense of trembling aspen in Western North America: genetics, development, and geography / *R. L. Lindroth, S. C. Wooley, J. R. Donaldson* [et al.] // *Journal of Chemical Ecology*. 2023. Vol. 49. P. 235–250.
- Physiology and genetic architecture of traits associated with cadmium tolerance and accumulation in *Populus nigra* L. / *V. Iori, M. Gaudet, F. Fabbrini* [et al.] // *Trees*. 2016. Vol. 30. P. 125–139.
- Phytoremediation of organic and nutrient contaminants / *J. L. Schnoor, L. A. Licht, S. C. McCutcheon* [et al.] // *Environmental Science & Technology*. 1995. Vol. 29. P. 318–323.
- Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment / Eds. J. G. Isebrands, J. Richardson. Wallingford : CABI ; Rome : FAO, 2014. 992 p.
- Pulford I. D., Watson C.* Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees – a review // *Environment International*. 2003. Vol. 29. P. 529–540.
- Response to sodium chloride in different species and clones of genus *Populus* L. / *H. Sixto, J. M. Grau, N. Alba, R. Alía* // *Forestry*. 2005. Vol. 78. P. 93–98.
- Responses of the *Populus* × *euramericana* clone I-214 to excess zinc: carbon assimilation, structural modifications, metal distribution and cellular localization / *D. Di Baccio, R. Tognetti, A. Minnocci, L. Sebastiani* // *Environmental and Experimental Botany*. 2009. Vol. 67, № 1. P. 153–163.
- Rood S. B., Braatne J. H., Goater L. A.* Flows for floodplain forests: a successful riparian restoration // *BioScience*. 2003. Vol. 53, № 7. P. 647–656.
- Rossi F., Brunetti L.* Copper distribution in root and shoot tissues of *Populus alba* grown in a contaminated soil // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 123–134.
- Rybakova E. A., Kulagin A. A.* Features of the content of the main photosynthetic pigments in the leaves of balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) during the growing season in the city of Ufa // *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014. Vol. 16, № 1 (3). P. 807–811. (In Russ.)
- Rybakova E. A., Kulagin A. A.* Features of the water regime of balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) during the growing season in the city of Ufa, Republic of Bashkortostan // *Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. № 4 (1). P. 128–130. (In Russ.)
- Stoyasheva N. V., Lebedeva A. A.* The Role of Green Spaces in Improving the Microclimate of Urbanized Areas // *Urban Ecology*. 2020. № 1 (15). P. 28–35. (In Russ.)
- Tatarintsev A. I.* Ecological and Forestry Features of the Sanitary and Phytopathological State of Anthropogenically Disturbed Plantations of Central Siberia : Doctor of Biological Sciences Dissertation. Krasnoyarsk : Siberian State Technical University, 2020. 336 p.
- The domestication and conservation of *Populus* genetic resources / *B. J. Stanton, M. J. Serapiglia, L. B. Smart* [et al.] // *Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment* / Eds. J. G. Isebrands, J. Richardson. Wallingford : CABI ; Rome : FAO, 2014. P. 124–199.
- The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray) / *G. A. Tuskan, S. DiFazio, S. Jansson* [et al.] // *Science*. 2006. Vol. 313. P. 1596–1604.
- Urazgil'din R. V.* Ecological and Biological Characteristics of Poplars under Environmental Pollution (using the Ufa Industrial Center as an Example) : Abstract of Cand. Sci. (Biology) Dissertation. Ufa, 1998. 22 p.

- Urazgildin R. V., Kulagin A. Yu.* Technogenesis and structural-functional responses of tree species: damage, adaptations, strategies. Part 2: Impact on physiological function // *The biosphere*. 2021. Vol. 13, № 3. P. 101–119. (In Russ.)
- White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests / *P. Madejón, T. Marañón, J. M. Murillo, B. Robinson* // *Environmental Pollution*. 2004. Vol. 132. P. 145–155.
- Zimarin M. S., Kochergina M. V.* State of Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.) in the Plantings of Residential Areas in Voronezh City // *Scientific Creativity of Young People – for the Forest Complex of Russia : Proc. of the XXI All-Russian Scientific and Technical Conf. Yekaterinburg : UGLTU, 2025. P. 173–177. (In Russ.)*

Информация об авторах

Л. С. Кулагина – ассистент;

А. А. Кулагин – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

L. S. Kulagina – Assistant;

A. A. Kulagin – Doctor of Biological Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 20.02.2026; принята к публикации 16.03.2026.

The article was submitted 20.02.2026; accepted for publication 16.03.2026

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 53–62.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 53–62.

Научная статья

УДК 630*5

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.006

ХОД РОСТА И ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR* L.) В ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ КАШАРСКОГО РАЙОНА)

Алексей Анатольевич Пузанков¹, Ренат Салимович Хамитов²,
Светлана Михайловна Хамитова³

^{1–3} Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева,
Москва, Россия

¹ puzankov-01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5005-1234>

² r.hamitov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1490-3553>

³ hamitova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3432-3804>

Аннотация. В статье представлены результаты исследования хода роста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях полезащитных лесных полос степной зоны на примере Кашарского района Ростовской области. Актуальность работы обусловлена недостаточной изученностью возрастной динамики таксационных показателей дубовых древостоев в защитных лесных насаждениях Доно-Донецкого лесомелиоративного района и необходимостью уточнения регионально адаптированных таблиц хода роста. Целью исследования являлась оценка особенностей роста дуба черешчатого по основным таксационным показателям в возрастном диапазоне до 40 лет. Объектом исследования послужила шестирядная полезащитная лесная полоса с участием дуба черешчатого (9Дч1Аб) на южных тяжелосуглинистых черноземах. Методика исследования включала закладку пробной площади, проведение перечислительной таксации, отбор модельных деревьев во внешних рядах лесной полосы, анализ древесных спилов и камеральную обработку данных с расчетом приростов по высоте, диаметру, площади поперечного сечения и объему ствола. Установлено, что рост дуба в возрасте 5–10 лет характеризуется умеренными темпами, а наиболее интенсивная фаза прироста по диаметру и объему приходится на 15–30 лет. К 40-летнему возрасту средняя высота модельных деревьев составила 13 м, диаметр на высоте 1,3 м – 14–15 см, а общий объем дерева – 0,12–0,13 м³. После 30 лет отмечается замедление темпов прироста при сохранении стабильного роста. По совокупности таксационных показателей полезащитная лесная полоса имеет II класс бонитета. Полученные результаты исследования подтверждаются высокими коэффициентами аппроксимации (0,94–0,96) и могут быть использованы для прогнозирования роста и планирования лесохозяйственных мероприятий в полезащитных лесных полосах Ростовской области.

Ключевые слова: дуб черешчатый, полезащитная лесная полоса, ход роста, таксационные показатели, возрастная динамика, степная зона, Ростовская область

Для цитирования: Пузанков А. А., Хамитов Р. С., Хамитова С. М. Ход роста и возрастная динамика дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в полезащитных лесных полосах Ростовской области (на примере Кашарского района) // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 53–62.

Original article

GROWTH COURSE AND AGE DYNAMICS OF THE PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) IN THE FIELD-PROTECTING FOREST BELTS OF THE ROSTOV REGION (ON THE EXAMPLE OF KASHARSKY DISTRICT)

Alexey A. Puzankov¹, Renat S. Khamitov², Svetlana M. Khamitova³

^{1–3} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, Russian, Moscow

¹ puzankov-01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5005-1234>

² r.hamitov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1490-3553>

³ hamitova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3432-3804>

Abstract. The article presents the results of a research of the growth of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the conditions of field-protective forest belts of the steppe zone using the example of the Kasharsky district of the Rostov region. The relevance of the work is due to the insufficient study of the age dynamics of the taxation indicators of oak stands in the protective forest plantations of the Dono-Donetsk forest reclamation area and the need to clarify regionally adapted growth tables. The purpose of the research was to evaluate the growth characteristics of the pedunculate oak according to the main taxation indicators in the age range up to 40 years. The object of the research was a six-row field-protective forest belt with the participation of pedunculate oak (9Dh1Ab) on the chernozems of the southern heavy loamy soils. The research methodology included the laying of a sample plot, enumeration taxation, selection of model trees in the outer rows of the forest belt, analysis of tree cuts and in-house data processing with the calculation of increments in height, diameter, cross-sectional area and trunk volume. It has been established that pedunculate oak growth over a period of 5–10 years is characterized by a moderate pace, and the most intense growth phase in diameter and volume occurs at the age of 15–30 years. By the age of 40, the average height of the model trees was 13 m, the diameter at a height of 1,3 m was 14–15 cm, and the total volume of the tree was 0,12–0,13 m³. After 30 years, there is a slowdown in growth rates while maintaining stable growth. According to the totality of taxation indicators, the field-protective forest belt has a class II bonus. The obtained research results are confirmed by high approximation coefficients (0,94–0,96) and can be used to predict growth and plan forestry measures in the field-protective forest belts of the Rostov region.

Keywords: pedunculate oak, field-protective forest belt, growth course, taxation indicators, age dynamics, steppe zone, Rostov region

For citation: Puzankov A. A., Khamitov R. S., Khamitova S. M. Growth course and age dynamics of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the field-protecting forest belts of the Rostov region (on the example of the Kasharsky district) // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 53–62.

Введение

Рост и формирование лесных насаждений представляет собой непрерывный динамический процесс, сопровождающийся закономерными изменениями их таксационных характеристик на всех этапах онтогенеза. Данные изменения проявляются как на уровне насаждения в целом, так и в его ключевом структурном элементе – древесное. Понимание закономерностей возрастной

и пространственной динамики древостоев имеет принципиальное значение для научно обоснованного управления лесными экосистемами, поскольку позволяет прогнозировать изменения основных таксационных показателей (высоты, диаметра, объема) в различных лесорастительных условиях.

Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) является одной из ведущих лесообразующих пород европейской части России и широко используется

при создании защитных лесных насаждений в условиях степной зоны. Высокая долговечность, развитая стержневая корневая система, устойчивость к ветровым нагрузкам и значительный мелиоративный эффект определяют его важную роль в стабилизации агроландшафтов и повышении экологической устойчивости территорий (Булыгин, Ярмишко, 2000).

Одной из важнейших биолого-морфологических особенностей породы является хорошо развитая стержневая корневая система, обеспечивающая высокую ветроустойчивость и устойчивость к почвенной эрозии. Дуб черешчатый относится к породам-мезофитам и проявляет наибольшую продуктивность на свежих и влажных суглинистых почвах. Порода умеренно светолюбива, особенно в молодом возрасте, при этом отличается сравнительно медленным начальным ростом (Сукачев и др. 1964, Бабошко, Пузанков, 2024а). Древесина дуба характеризуется высокой плотностью и механической прочностью. Средняя плотность древесины в абсолютно сухом состоянии составляет 650–700 кг/м³, предел прочности при сжатии вдоль волокон – 50–60 МПа. Высокое содержание дубильных веществ обуславливает устойчивость древесины к гниению и биологическому разрушению, что определяет ее хозяйственную ценность (Ткаченко, 1955).

В условиях Доно-Донецкого лесомелиоративного района дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) формирует как чистые, так и смешанные поlezащитные лесные полосы, однако особенности возрастной динамики его таксационных показателей в данных условиях изучены недостаточно. В связи с этим актуальным является исследование роста и развития дубовых древостоев с целью уточнения регионально адаптированных таблиц хода роста и повышения эффективности ведения лесного хозяйства в условиях современных климатических изменений.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Настоящая работа направлена на комплексное исследование закономерностей хода роста и таксационной динамики дуба черешчатого (*Quercus*

robur L.) в составе поlezащитной лесной полосы, сформированной в условиях степных агроландшафтов Ростовской области. Целью исследования является установление особенностей изменений основных таксационных показателей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в агролесомелиоративных насаждениях степной зоны. Объектом исследования послужила поlezащитная лесная полоса, расположенная в административных границах Кашарского района Ростовской области, где дуб является одной из лесообразующих древесных пород лесных полос (9Дч1Аб).

В соответствии со схемой геоморфологического районирования Ростовской области территория исследования относится к Доно-Донецкой эрозийной равнине, характеризующейся выровненным рельефом с незначительной расчлененностью. Почвенный покров представлен черноземами южными тяжелосуглинистыми, сформированными на желто-бурых структурных глинах (Танюкевич, Ивонин, 2012). По классификации лесорастительных условий для данного типа почв характерны сухие и свежие сугрудки (С), местами переходящие в условия, близкие к дубравным (Д), что создает относительно благоприятную среду для произрастания дуба черешчатого.

Согласно агроклиматическому районированию, исследуемая территория относится к подрайону Ів, для которого характерны жаркое засушливое лето и умеренно холодная зима. Климат района отличается высокой повторяемостью ветров, при этом в летний период нередко наблюдаются суховеи, оказывающие существенное влияние на рост и формирование древостоев защитных лесных насаждений. Исследуемая лесная полоса имеет шестирядную структуру и плотную конструкцию, что соответствует типовым проектным решениям для поlezащитных насаждений в степной зоне. Возраст дубового древостоя на момент проведения исследований составляет 40 лет, что позволяет анализировать показатели роста породы в период активного формирования стволовой древесины и кроны.

Для изучения хода роста дуба черешчатого в пределах исследуемой лесной полосы была заложена пробная площадь. Закладка пробной

площади и проведение таксационных работ осуществлялись в соответствии с требованиями межотраслевого стандарта ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки», регламентирующего порядок проведения полевых и камеральных работ в лесных насаждениях. При организации полевых исследований учитывались почвенные условия участка, а также особенности таксации защитных лесных полос, отличающихся линейной структурой и выраженным краевым эффектом (Примаков, Тянукевич, 2024). В ходе переписи таксации на пробной площади были определены основные таксационные показатели древостоя. На основе полученных данных были рассчитаны средние значения высоты и диаметра, по которым во внешних рядах лесной полосы были отобраны три модельных дерева. Выбор модельных деревьев именно во внешних рядах обусловлен тем, что в этих зонах наиболее ярко проявляется влияние внешних экологических факторов (ветрового режима, инсоляции, дефицита воды), что имеет принципиальное значение для оценки адаптационных возможностей породы.

Следует отметить, что разница между измеренными фактическими значениями диаметров стволов и расчетными теоретическими показателями не превышала допустимых пределов погрешности ± 1 см, установленных ОСТ 56-69-83 для деревьев с диаметром ствола до 20 см, что подтверждает правильность отбора модельных экземпляров. После валки модельных деревьев были проведены детальные измерения длины ствола, протяженности кроны и бессучковой части ствола. Стволы были разделены на двухметровые секции с последующей разметкой мест отбора спилов. Срезы для анализа годовичных колец были сделаны у основания ствола (нулевой срез), на высоте 1,3 м, в серединах секций, а также в зоне вершины, что соответствует общепринятым методикам анализа ствола (Бабошко, Пузанков, 2024б). Камеральная обработка материалов включала определение площадей поперечных сечений по измеренным диаметрам, расчет объемов отдельных секций и всего ствола, а также определение приростов по высоте, диаметру и объему за пятилетние возрастные периоды. Статистическая

обработка полученных данных и анализ регрессионных зависимостей проводились с использованием программного пакета MS Office Excel, что обеспечило сопоставимость результатов и их последующую интерпретацию (Черных, 2013; Осипенко, Залесов, 2019).

Результаты и их обсуждение

По результатам камеральной обработки древесных спилов были систематизированы данные о динамике роста дерева. В табл. 1 представлен анализ изменений его диаметра и высоты по периодам роста. Табл. 2 содержит расчетные показатели площади поперечного сечения и объема ствола, выполненные на основании первичных измерений (Загребев, Сухих, 1992).

После анализа представленных в табл. 1 экспериментальных данных была разработана математическая модель, отражающая изменение высоты и диаметра модельных деревьев по периодам возраста. Графическое представление результатов показано на рис. 1. Высокая степень соответствия моделей наблюдаемым данным подтверждается показателями коэффициента детерминации ($R^2=0,95...0,96$), свидетельствующими о высоком уровне точности полученных расчетов.

$$h = -0,0002n^2 + 0,3569n - 0,8929; \quad (1) \\ R^2 = 0,9557;$$

$$d = 0,0018n^2 + 0,352n - 1,663; \quad (2) \\ R^2 = 0,9693;$$

где h – высота ствола, м; d – диаметр ствола, см;
 V – объем ствола, м³; n – возраст дерева, лет;
 R^2 – коэффициент аппроксимации.

Исследование, основанное на анализе представленной информации в табл. 1 и на рис. 1, демонстрирует, что древостой дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) характеризуется активным ростом вплоть до наступления возраста спелости. Так, по достижении 40 лет среднестатистическая высота достигнет 13 м, а срединный диаметр на стандартной высоте 1,3 м составит 14 см. Данные показатели соотносятся с классификационными нормами, разработанными ученым М. М. Орловым, и указывают на принадлежность насаждений ко II классу бонитета (Загребев, Сухих, 1992).

Таблица 1

Table 1

Ход роста *Quercus robur* L. по высоте и диаметру
Growth course of *Quercus robur* L. in height and diameter

Параметры ствола Trunk parameters	Возраст, лет / Age, years								
	5	10	15	20	25	30	35	40	
								Без коры Without bark	В коре In the bark
Диаметр сечения, см Cross-section diameter, cm	2,3	4,5	7,5	9,5	11,4	13,4	15,3	16,5	17,3
	1,3	2,3	4,3	7,0	8,8	13,3	13,3	14,2	15,6
	1,0	2,1	4,0	6,3	7,8	12,8	12,8	14,0	15,1
	–	1,5	3,1	4,8	6,0	11,4	11,4	12,3	14,0
	–	–	1,7	3,0	3,9	8,9	8,9	9,8	11,5
	–	–	–	1,0	3,0	7,3	7,3	8,4	10,5
	–	–	–	–	1,5	5,4	5,4	5,9	7,8
	–	–	–	–	–	2,4	1,5	5,1	7,3
Высота дерева по периодам возраста, м Height of the tree by age period, m	1,8	4,0	6,0	7,9	9,5	11,6	12,5	13,0	

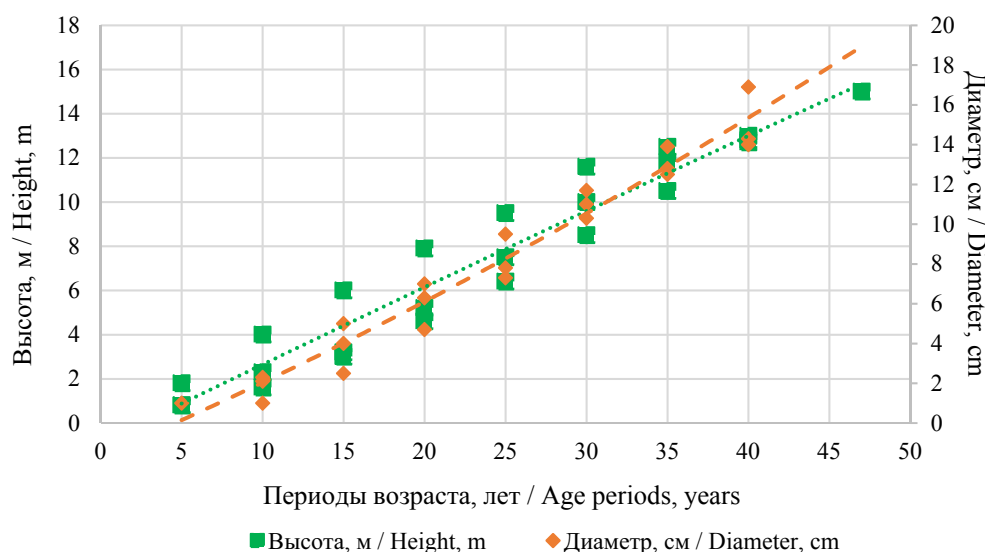


Рис.1. Изменение высоты и диаметра дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с возрастом
Fig.1. The change in height and diameter of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) with age

По данным табл. 2 установлено, что у дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) площадь поперечного сечения и объем ствола возрастают по мере увеличения возраста деревьев. В возрасте 5–10 лет суммарная площадь сечений составляет $0,1\text{--}0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, а объем ствола – $0,3\text{--}11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, что соответствует начальному этапу формирования ствола. Наиболее интенсивный прирост наблюдается в 15–30 лет, когда суммарная пло-

щадь сечения увеличивается с $2,5$ до $22,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, а объем ствола – с $5,0$ до $45,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. После 30–35-летнего возраста темпы прироста снижаются, однако абсолютные значения продолжают возрастать и к 40 годам достигают $44,7\text{--}62,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ по площади сечения и $89,4\text{--}125,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ по объему ствола (без коры и в коре соответственно). Полученные данные свидетельствуют о выраженной возрастной динамике таксационных

Таблица 2

Table 2

Динамика роста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)
по площади сечения на высоте 1,3 м и объему ствола
The dynamics of the growth of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.)
in terms of cross-sectional area at a height of 1,3 m and trunk volume

Возраст, лет /Age, years								
5	10	15	20	25	30	35	40	
							Без коры Without bark	В коре In the bark
Площадь сечения, м ² ·10 ⁻³ / Cross-sectional area, м ² ·10 ⁻³								
0,1	0,4	1,5	3,8	6,0	10,4	13,9	15,0	19,1
–	0,2	0,8	1,8	2,8	5,8	10,2	12,0	15,4
–	–	0,2	0,7	2,1	2,9	6,2	7,5	10,4
–	–	–	0,1	0,7	2,4	4,1	5,5	8,7
–	–	–	–	0,2	0,8	2,3	2,7	4,8
–	–	–	–	–	0,5	1,6	2,0	4,2
Сумма площадей сечений, м ² ·10 ⁻³ / The sum of the cross-sectional areas, м ² ·10 ⁻³								
0,1	0,6	2,5	6,4	11,8	22,8	38,3	44,7	62,6
Объем ствола, м ³ ·10 ⁻³ / Barrel volume, м ³ ·10 ⁻³								
0,3	11,6	5,0	12,8	23,5	45,6	76,6	89,4	125,2
Объем вершинки, м ³ ·10 ⁻³ / Vertex volume, м ³ ·10 ⁻³								
0,24	0,2	0,3	0,27	0,25	0,32	0,03	0,03	0,4
Общий объем дерева, м ³ ·10 ⁻³ / The total volume of the tree, м ³ ·10 ⁻³								
0,5	1,4	5,3	13,1	23,8	45,9	76,6	89,7	125,6
Площадь сечения вершинки, м ² ·10 ⁻³ / Vertex cross-sectional area, м ² ·10 ⁻³								
0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,2	0,9	1,3
Длина вершинки, м / Vertex length, m								
1,8	1,9	1,9	1,9	1,5	1,6	0,5	1,0	
Диаметр основания вершинки, см / Diameter of the vertex base, cm								
2,5	2,0	2,4	2,6	2,4	2,8	1,6	3,4	4,0

показателей дуба черешчатого и переходе древо-
стоя после 30 лет в стадию замедленного стаби-
лизированного роста. Изменение хода роста ство-
ла по объему (рис. 2) представлено уравнением
полиномиальной функции и подтверждается вы-
соким коэффициентом аппроксимации.

$$V = 0,0001n^2 - 0,0032n + 0,0171; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9450;$$

где h – высота ствола, м; d – диаметр ствола, см;
 V – объем ствола, м³; n – возраст дерева, лет;
 R^2 – коэффициент аппроксимации.

Проведенное исследование позволило уста-
новить специфику возрастной динамики такса-
ционных показателей дуба черешчатого (*Quercus*
robur L.) в условиях полевых лесных полос
степной зоны Ростовской области. Полученные
результаты исследования котируются с современ-
ными представлениями о закономерностях роста
дуба в защитных лесных насаждениях аридных
регионов, но в то же время выявляют региональ-
ные особенности, обусловленные комплексом
природно-климатических факторов.

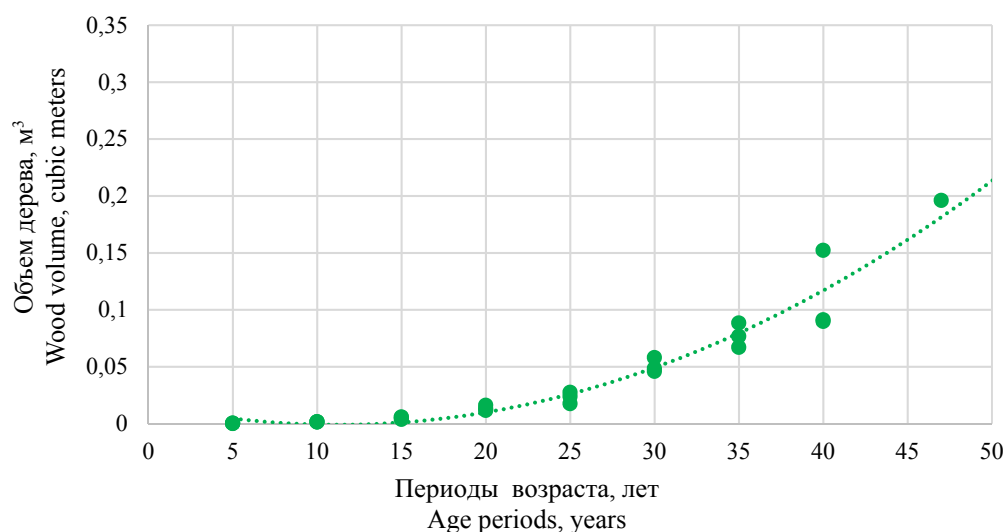


Рис. 2. Изменение объема ствола дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с возрастом
Fig. 2. The change in the volume of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) with age

Сравнительный анализ исследований показывает, что рост дуба в лесных полосах в условиях сухой степи протекает менее интенсивно по сравнению с ростом естественных дубрав других регионов в более благоприятных лесорастительных условиях, например в лесостепной зоне Башкирского Предуралья (Чурагулова и др., 2007). Это согласуется с общим положением о том, что в экстремальных условиях сухостепи рост деревьев лимитируется в первую очередь дефицитом влаги и высокой инсоляцией, а не почвенным плодородием, которое в нашем случае является оптимальным для сухих степей. Как и в случае с вязом шершавым, изученным в аналогичных условиях Ростовской области (Пузанков, Хамитов, 2025), искусственные лесные полосы не обеспечивают того оптимального микроклимата и почвенного увлажнения, которые характерны для естественных лесных массивов, что приводит к снижению скорости роста таксационных показателей.

Полученные нами данные о замедленности роста дуба в агроландшафте согласуются с выводами исследований В. А. Петрова и В. А. Балясного (2016), которые отмечали, что насаждения дуба, созданные посевом, могут уступать по скорости роста другим породам, но при этом формируют устойчивый древостой. В условиях Ростовской области эта особенность усугубляется действием комплекса абиотических стрессоров: периодическими засухами и суховеями. Это обуславливает

необходимость не просто создания лесных полос, а применения специальных селекционно-агротехнических решений для повышения их устойчивости и продуктивности.

В данном контексте перспективным направлением для агролесомелиорации Ростовской области представляется внедрение селекционных форм дуба, адаптированных к местным условиям. Как показали исследования в Нижнем Поволжье (Морозова, Иозус, 2015), пирамидальная форма дуба черешчатого обладает повышенной комплексной устойчивостью к засухе, морозам и патогенам, а также характеризуется более энергичным ростом в высоту, что имеет особую важность для формирования защитных лесных насаждений. Использование такого посадочного материала могло бы стать эффективным ответом на выявленную в нашем исследовании проблему замедленного роста.

Кроме генетического отбора, значительный потенциал для оптимизации роста дуба в молодых лесных полосах заключают агротехнические приемы. Б. Д. Жилкин и М. А. Егоренков в своем труде (1969) подтвердили, что подсев люпина многолистного в междурядья культур дуба ускоряет его рост, сокращая ювенильный период, и стимулирует образование дополнительных побегов. Данный прием, направленный на улучшение азотного питания и микроклимата, мог бы быть успешно адаптирован для условий степного Придонья, особенно на этапе закладки и формирования лесных полос.

Таким образом, ход роста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в полевых защитных лесных полосах Кашарского района является отражением сложного взаимодействия лимитирующих факторов сухой степи. Для повышения эффективности защитного агролесоразведения в регионе необходима реализация комплекса мер, включающих в себя разработку систем агротехнических приемов на протяжении всех этапов развития полевой защитной лесной полосы, а также использование перспективных селекционных форм дуба, обладающих засухоустойчивостью.

Выводы

1. В результате проведенного комплексного исследования хода роста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях полевой защитной лесной полосы Доно-Донецкого лесомелиоративного района (Кашарский район, Ростовская область) было установлено, что на протяжении 40-летнего возрастного периода основные таксационные показатели дерева (высота, диаметр и объем ствола) характеризуются устойчивым поступательным увеличением. В раннем возрасте (5–10 лет) рост дуба носит умеренный характер, что связано с биологическими особенностями породы и формированием мощной корневой системы. К 10-летнему возрасту средняя высота дерева достигает 4,0 м, диаметр ствола – 2,3 см, а объем ствола остается незначительным, соответствуя начальному этапу онтогенеза.

2. Наиболее интенсивная фаза роста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) отмечается в возрасте 15–30 лет. В данный период наблюдается максимальный прирост по диаметру и объему ствола, что свидетельствует о переходе древостоя в стадию активного формирования древесной массы. К 20-летнему возрасту высота дерева достигает в среднем 7,9 м, диаметр – около 7 см, а объем ствола превышает $13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. К 30 годам высота увеличивается до 11,6 м, диаметр –

до 12–13 см, а объем ствола возрастает до $45\text{--}46 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, что указывает на высокую продуктивность дуба в условиях степных полевых защитных насаждений.

3. После 30–35-летнего возраста темпы прироста по основным таксационным показателям несколько снижаются, однако рост продолжает носить стабильный характер. К 40-летнему возрасту средняя высота дуба черешчатого составляет около 13,0 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 14–15 см, а общий объем дерева достигает $0,12\text{--}0,13 \text{ м}^3$. Динамика площади поперечного сечения и объема ствола подтверждает закономерный переход древостоя в фазу относительной стабилизации роста, характерную для защитных насаждений данного возраста.

4. Анализ графических кривых хода роста древостоя по основным таксационным показателям (высоте, диаметру, объему) показал отсутствие резких колебаний, что свидетельствует о сравнительно стабильных лесорастительных и климатических условиях в период формирования древостоя. Высокие значения коэффициентов аппроксимации ($R^2 = 0,94\text{--}0,96$) для регрессионных уравнений по основным таксационным показателям подтверждают достоверность полученных зависимостей и возможность их использования для прогнозных расчетов.

5. По совокупности таксационных показателей исследуемые насаждения дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) соответствуют II классу бонитета.

6. Полученные результаты расширяют представления о возрастной динамике дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях полевых защитных лесных полос степной зоны и могут быть использованы при разработке регионально адаптированных таблиц хода роста, планировании лесохозяйственных мероприятий и оценке продуктивности защитных насаждений Ростовской области.

Список источников

- Бабошко О. И., Пузанков А. А. Анализ хода роста и особенности состояния ясеня ланцетного в условиях сухой дубравы Ростовской области // Научно-агрономический журнал. 2024а. № 1 (124). С. 26–30.
- Бабошко О. И., Пузанков А. А. Современное состояние дуба черешчатого в насаждениях степной зоны Ростовской области (на примере Кашарского участкового лесничества) // Мелиорация как драйвер

- модернизации АПК в условиях изменения климата : матер. V Междунар. науч.-практ. интернет-конф, Новочеркасск, 22–24 апреля 2024 года. Новочеркасск : Лик, 2024б. С. 306–309.
- Булыгин Н. Е., Ярмишко В. Т. Дендрология. СПб. : Наука, 2000. 528 с.
- Жилкин Б. Д., Егоренков М. А. Сезонная динамика роста в высоту дуба черешчатого, клена остролистного и ясеня обыкновенного под влиянием люпина многолистного // Лесоведение и лесное хозяйство. 1969. № 1. С. 60–66.
- Загреев В. В., Сухих В. И. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М. : Колос, 1992. 495 с.
- Морозова Е. В., Иозус А. П. Основные результаты селекции пирамидальных форм дуба черешчатого в условиях сухой степи Нижнего Поволжья // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22619> (дата обращения: 10.01.2026).
- Осипенко А. Е., Залесов С. В. Применение искусственной нейронной сети для аппроксимации таксационных показателей сосновых древостоев // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы : социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : матер. XII Междунар. науч.-техн. конф, Екатеринбург, 21–22 мая 2019 года. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. С. 208–210.
- ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М. : Изд-во стандартов, 1983. 18 с.
- Петров В. А., Балясный В. И. Ход роста дуба черешчатого и липы мелколистной в лесных культурах, созданных на вырубках посевом желудей и посадкой сеянцев в Чувашской Республике // Лесохозяйственная информация. 2016. № 4. С. 66–72.
- Примаков Н. В., Танюкевич В. В. Лесохозяйственные мероприятия в полевых защитных лесных полосах Краснодарского края // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. № 4. С. 185–192.
- Пузанков А. А., Хамитов Р. С. Особенности динамики роста вяза шершавого (*Ulmus glabra* Huds.) в естественных насаждениях и полевых защитных лесных полосах Ростовской области // Научно-агрономический журнал. 2025. № 3 (130). С. 64–72.
- Сукачев В. Н., Дылиса Н. В. Основы лесной биогеоценологии. М. : Наука, 1964. 566 с.
- Танюкевич В. В., Ивонин В. М. Особенности хода роста основных пород лесных полос в Ростовской области // Лесной вестник. 2012. № 2. С. 27–31.
- Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. 2-е изд., перераб. и доп. М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1955. 600 с.
- Черных Д. В. Модели и таблицы хода роста дубрав искусственного происхождения Нижнего Поволжья // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 93. С. 344–363.
- Чурагулова З. С., Латыпов Ф. Ш., Габделхаков А. К. Ход роста дуба черешчатого на темно-серой лесной почве лесостепи башкирского Предуралья // Аграрный вестник Урала. 2007. № 4 (40). С. 48–51.

References

- Baboshko O. I., Puzankov A. A. Analysis of the growth course and features of the condition of lanceolate ash in a dry oak grove of the Rostov region // Scientific and Agronomical Journal. 2024a. № 1 (124). P. 26–30. (In Russ.)
- Baboshko O. I., Puzankov A. A. Current state of common oak in the steppe zone plantations of the Rostov region (using the Kasharsky district forestry as an example) // Land reclamation as a driver for the modernization of the agro-industrial complex in the context of climate change : Proceedings of the V International Scientific and Practical Internet Conference, Novocherkassk, April 22–24, 2024. Novocherkassk : Lik, 2024b. P. 306–309. (In Russ.)
- Bulygin N. E., Yarmishko V. T. Dendrology. St. Petersburg : Science, 2000. 528 p.

- Zhilkin B. D., Egorenkov M. A. Seasonal Dynamics of Height Growth of English Oak, Norway Maple, and Common Ash Under the Influence of Lupine // *Forest Science and Forestry*. 1969. № 1. P. 60–66. (In Russ.)
- Zagreev V. V., Sukhikh V. I. All-Union Standards for Forest Inventory. Moscow : Kolos, 1992. 495 p.
- Morozova E. V., Iozus A. P. Main Results of Breeding Pyramidal Forms of English Oak in the Dry Steppe of the Lower Volga Region // *Modern Problems of Science and Education*. 2015. № 2-2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22619> (accessed 10.01.2026).
- Osipenko A. E., Zalesov S. V. Application of an artificial neural network for approximating taxation indicators of pine stands // *Forest science in the implementation of the concept of the Ural engineering school: socio-economic and environmental problems of the forest sector of the economy : Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference, Yekaterinburg, May 21–22, 2019*. Ural State Forest Engineering University, 2019. P. 208–210. (In Russ.)
- OST 56-69-83. Forest management trial areas. Methods of laying out. Moscow : Publishing House of Standards, 1983. 18 p.
- Petrov V. A., Balyasny V. I. Growth Course of Common Oak and Small-Leaved Linden in Forest Cultures Created on Cleared Areas by Sowing Acorns and Planting Seedlings in the Chuvash Republic // *Forestry Information*. 2016. № 4. P. 66–72. (In Russ.)
- Primakov N. V., Tanyukevich V. V. Forestry Measures in Shelterbelts of Krasnodar Krai // *News of Higher Education Institutions. Forest Journal*. 2024. № 4. P. 185–192. (In Russ.)
- Puzankov A. A., Khamitov R. S. Growth Dynamics Features of Russian Elm (*Ulmus glabra* Huds.) in Natural Plantations and Shelterbelts of Rostov Oblast // *Scientific and Agronomic Journal*. 2025. № 3 (130). P. 64–72. (In Russ.)
- Sukachev V. N., Dylis N. V. Fundamentals of Forest Biogeocenology. Moscow : Science, 1964. 566 p.
- Tanyukevich V. V., Ivonin V. M. Growth Patterns of Main Species in Forest Belts in the Rostov Region // *Forestry bulletin*, 2012. № 2. P. 27–31. (In Russ.)
- Tkachenko M. E. General Forestry : 2nd ed., revised and enlarged. Moscow ; Leningrad : Goslesbumizdat, 1955. 600 p.
- Chernykh D. V. Models and tables of the growth course of artificial oak groves of the Lower Volga region // *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2013. № 93. P. 344–363. (In Russ.)
- Churagulova Z. S., Latypov F. Sh., Gabdelkhakov A. K. Growth course of pedunculate oak on dark gray forest soil of the forest-steppe of the Bashkir Cis-Urals // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2007. № 4 (40). P. 48–51. (In Russ.)

Информация об авторах

A. A. Пузанков – аспирант;

P. C. Хамитов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

C. M. Хамитова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

A. A. Puzankov – postgraduate student;

R. S. Khamitov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

S. M. Khamitova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 26.01.2026; принята к публикации 18.02.2026.

The article was submitted 26.01.2026; accepted for publication 18.02.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 63–74.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 63–74.

Научная статья

УДК: 581.134.1

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.007

СОДЕРЖАНИЕ И БАЛАНС ЗАПАСНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ТКАНЯХ ПОБЕГОВ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ГОРТЕНЗИИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

Наталья Николаевна Бессчетнова¹, Владимир Петрович Бессчетнов²,
Алсу Ирфановна Шабанова³

^{1–3} Нижегородский государственный агротехнологический университет

им. Л. Я. Флорентьева, Нижний Новгород, Россия

¹ besschetnova1966@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

² lesfak@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

³ alsyshka13@bk.ru, <http://orcid.org/0009-0000-6823-5883>

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью расширения ассортимента древесных растений для городского озеленения с целью реализации ими санитарных и декоративных функций. Весьма перспективны формы и сорта рода Гортензия (*Hydrangea* L.), недостаточно распространенные в Среднем Поволжье. Цель работы – выявить содержание крахмала в тканях побегов гортензии в период перехода к покою, что определяет их зимостойкость. Объектом исследования послужили побеги текущего года вегетативного происхождения в фазе онтогенеза. Работа проводилась на коллекционном участке Дендрологического парка Нижегородского ГАТУ (56°14'30" N, 43°57'16" E, высота 141 м). Методология базировалась на принципах единственного логического различия, типичности и надежности опыта. Натурный этап включал полевые обследования саженцев, камеральный – гистохимический анализ в лаборатории. Первичная единица выборки – временные препараты поперечных срезов средней части годичного прироста, проанализированные с помощью микроскопа «Микмед-2» после окрашивания раствором Люголя. Выявлены значительные межсортные различия по содержанию крахмала: средние значения варьировали от 0 до $16,75 \pm 0,281$ балла. Ряд сортов продемонстрировал высокие показатели ($15,25 \pm 0,335$ и $15,80 \pm 0,779$ балла), тогда как минимальное значимое содержание составило $8,05 \pm 0,535$ балла. Полученные данные позволяют оценить степень подготовленности различных декоративных форм гортензии к неблагоприятным зимним условиям региона.

Ключевые слова: гортензия крупнолистная, гортензия метельчатая, гортензия древовидная, гистохимия, содержание крахмала, содержание жиров, изменчивость, наследственность

Для цитирования: Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Шабанова А. И. Содержание и баланс запасных питательных веществ в тканях побегов различных сортов гортензии в Нижнем Новгороде // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 63–74.

Original article

CONTENT AND BALANCE OF RESERVE SUBSTANCES IN THE SHOOT TISSUES OF DIFFERENT HYDRANGEA VARIETIES IN NIZHNY NOVGOROD

Natalya N. Besschetnova¹, Vladimir P. Besschetnov², Alsu I. Shabanova³

¹⁻³ Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University,
Nizhny Novgorod, Russia

¹ besschetnova1966@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

² lesfak@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

³ alsyshka13@bk.ru, <http://orcid.org/0009-0000-6823-5883>

Abstract. The relevance of this research is driven by the need to expand the assortment of woody plants for urban landscaping to enhance their sanitary and decorative functions. Decorative forms and cultivars of the genus *Hydrangea* (*Hydrangea* L.) are highly promising but remain underutilized in the Middle Volga region. The research aims to identify the starch content in hydrangea shoot tissues during the transition to the quiescence period, which determines their winter hardiness. The research focused on vegetative shoots of the current year in the reproductive phase of ontogeny. Research was conducted at the collection site of the Dendrological Park of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University (56°14'30" N, 43°57'16" E, altitude 141 m). The methodology was based on the principles of single logical difference, typicality, and reliability. The field stage included stationary surveys of seedlings, while the office stage involved histochemical laboratory analysis. The primary sampling unit consisted of temporary cross-sections from the middle part of the annual growth, analyzed using a Mikmed-2 microscope after staining with Lugol's solution. Significant inter-cultivar differences in starch content were revealed: mean values ranged from 0 to $16,75 \pm 0,281$ points. Several cultivars showed high indicators ($15,25 \pm 0,335$ and $15,80 \pm 0,779$ points), while the minimum significant content was $8,05 \pm 0,535$ points. The data obtained allow us to evaluate the preparedness of various decorative hydrangea forms for the unfavorable winter conditions of the region.

Keywords: bigleaf hydrangea, panicle hydrangea, smooth hydrangea, histochemistry, fat content, variability, heredity

For citation: Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Shabanova A. I. Content and balance of reserve substances in the shoot tissues of different hydrangea varieties in Nizhny Novgorod // *Forests of Russia and economy in them*. 2026. № 3 (98). P. 63–74.

Введение

Проблемы озеленения современных мегаполисов, к числу которых относятся и Нижний Новгород, напрямую связаны с эффективным выполнением растениями своих санитарно-гигиенических, декоративно-эстетических и оздоровительных функций (Гетманцева, 2023). В этой связи большое значение приобретает обоснованность формирования ассортимента, в состав которого включают как аборигенные виды, так и представителей инорайонных популяций. В числе

последних весьма перспективны формы и сорта гортензии (*Hydrangea* L.), обладающие высокой эстетической ценностью и длительным периодом цветения (Reed, 2020; Дирр, 2021).

Наиболее часто в культуре встречаются такие виды, как гортензия древовидная (*Hydrangea arborescens* L.), гортензия черешковая (*Hydrangea petiolaris* Siebold & Zucc.), гортензия крупнолистная (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.), гортензия Сарджента (*Hydrangea sargentiana* Rehder), гортензия метельчатая (*Hydrangea paniculata* Siebold)

и некоторые другие (Van Gelderen, 2023). Несмотря на популярность рода в мировом садоводстве, в Среднем Поволжье гортензии пока не нашли широкого распространения. Нередко их внедрение в регионе сдерживается неполной адаптацией к новым условиям и отсутствием сведений о соответствии их биологии фону экологических параметров (Васильева, 2012; Сорокопудова, Кочергина, 2018; Uemoto et al., 2014).

В связи с этим объективная оценка степени адаптации интродуцентов требует привлечения современных гистохимических методов, позволяющих выявить скрытые механизмы устойчивости растений на тканевом уровне (Бессчетнов и др., 2018; Рындин, Коновалов, 2018; Коновалов, 2020; Кулькова, 2022; Pagter et al., 2008).

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель исследования – выявить содержание и баланс запасных веществ в тканях однолетних побегов декоративных сортов гортензии (*Hydrangea* L.) в фазе перехода к состоянию покоя, определяющей степень их подготовленности к комплексу неблагоприятных зимних факторов.

Задача исследования – провести сравнительный гистохимический анализ тканей однолетних побегов различных сортов гортензии для оценки степени их подготовленности к неблагоприятным условиям зимнего периода

Теоретической базой послужили представления о физиологическом статусе как факторе адаптации и регенерационной способности растений (Кулькова, 2016, 2022; Бабаев, 2021а,б). Гистохимические методы широко применяются в исследованиях кафедры лесных культур для оценки биологической разнокачественности древесных растений (Бессчетнов и др., 2018; Бессчетнова и др., 2020; Есичев и др., 2022). Наличие запасных веществ оценивали дифференцированно по учетным зонам (Бессчетнов и др., 2018, 2021; Кулькова и др., 2021).

Первичная единица выборки – временные препараты поперечных срезов средней части однолетних приростов. Микроскопирование проводили на «Микмед-2» с цифровой насадкой OLYMPUS.

Тест-контролем служили неокрашенные срезы (Бессчетнов и др., 2018, 2021; Кулькова и др., 2021).

Для выявления крахмала применяли реактив Люголя. Количественную оценку (0–5 баллов) проводили по доле клеток с крахмальными зернами в учетной зоне (Бессчетнов и др., 2018, 2021; Кулькова и др., 2021): от 0 (отсутствие) до 5 (100 % клеток ткани). Жиры (липиды) фиксировали реакцией на Судан-III (Прозина, 1960). Оценка содержания проводили по авторской шкале (Бабаев и др., 2022): 0 – окрашивание отсутствует; 1 – фрагментарное бледно-розовое окрашивание; 2 – слабовыраженное окрашивание всей поверхности; 3 – интенсивное красно-оранжевое окрашивание части зоны; 4 – полное интенсивное окрашивание всей зоны; 5 – присутствие жира в капельно-жидком состоянии. По оранжево-красному окрашиванию учитывали наличие суберина в корковой зоне.

Получены средние значения и производные признаки: коэффициенты, отношения и индексы (Кулькова и др., 2021). Для 12 сортов по шести учетным зонам выполнено по 10 фиксаций балльной оценки. База данных составила 720 дата-единиц. Статистическая обработка проведена методом ANOVA.

Результаты и их обсуждение

Установлена заметная неоднородность исследуемого комплекса сортов гортензии по содержанию запасных веществ в тканях одревесневших побегов (табл. 1–6).

Средние баллы накопления крахмала существенно варьируют в зависимости от сорта (см. табл. 1). Наибольшее количество зафиксировано у сортов ‘Candlelight’ ($1,30 \pm 0,351$ балла) и ‘Mojito’ ($1,10 \pm 0,277$ балла), наименьшее, соответствующее нулевым отметкам, – у сортов ‘Phantom’, ‘Red Baron’ и ‘Strong Annabelle’. Минимальные значения оценки имели сорта ‘Doppio Nuvola’ и ‘Pinky Winky’ – по $0,15 \pm 0,076$ балла. Остальные образцы, занимая промежуточные позиции, в той или иной мере приближались к среднему по всему массиву данных значению (вариант Total): $0,39 \pm 0,057$ балла. Характерной особенностью этого параметра стало наличие у всех исследованных сортов гортензии побегов, в клетках сердцевинки которых крахмал полностью отсутствовал ($\min = 0$ баллов).

Таблица 1
Table 1Общее содержание крахмала в тканях побегов гортензии
Total starch content in hydrangea shoot tissues

Copra / Varieties	<i>M</i>	$\pm m$	СКО	max	min	Δ lim	<i>Cv</i> , %	<i>P</i> , %
‘Bouquet Rose’	12,90	0,356	1,13	14,50	12,00	2,50	8,72	2,76
‘Phantom’	5,95	0,337	1,07	7,50	4,50	3,00	17,91	5,66
‘Doppio Nuvola’	11,25	0,335	1,06	12,50	9,00	3,50	9,43	2,98
‘Pinky Winky’	8,85	0,236	0,75	9,50	7,50	2,00	8,44	2,67
‘Red Baron’	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
‘Fire in Ice’	10,00	0,105	0,33	10,50	9,50	1,00	3,33	1,05
‘Candlelight’	11,10	0,666	2,11	13,50	9,00	4,50	18,97	6,00
‘Mojito’	10,20	0,712	2,25	12,00	7,00	5,00	22,07	6,98
‘Diamant Rouge’	7,50	0,428	1,35	9,00	6,00	3,00	18,05	5,71
‘Strong Annabelle’	7,95	0,565	1,79	10,00	6,00	4,00	22,47	7,11
‘Skyfall’	12,35	0,500	1,58	14,50	10,50	4,00	12,81	4,05
‘Silver Dollar’	13,50	0,483	1,53	16,00	12,00	4,00	11,32	3,58
Итого / Total	9,30	0,347	3,81	16,00	0,00	16,00	40,95	3,74

Примечание. Статистики: *M* – среднее арифметическое; $\pm m$ – стандартная ошибка; СКО – стандартное отклонение; max – абсолютный максимум значений; min – абсолютный минимум значений; Δ lim – диапазон абсолютных значений, *Cv* – коэффициент вариации, %; *P* – точность опыта, %.

Note. Statistics: *M* – arithmetic mean; $\pm m$ – standard error; SD – standard deviation; max – absolute maximum; min – absolute minimum; Δ lim – range of absolute values; *Cv* – coefficient of variation, %; *P* – relative error (precision), %

В перимедулярной зоне ксилемы наблюдался иной характер распределения показателей: содержание крахмала здесь было значительно выше. Значения варьировали от $1,40 \pm 0,306$ балла (сорт ‘Strong Annabelle’) и $1,45 \pm 0,138$ балла (сорт ‘Phantom’) до $4,55 \pm 0,229$ балла (сорт ‘Bouquet Rose’) и $4,90 \pm 0,100$ балла (сорт ‘Doppio Nuvola’). Исключение составил сорт ‘Red Baron’, у которого крахмал в данной учетной зоне полностью отсутствовал.

Содержание жиров также было неравномерным (см. табл. 2). Наибольшая концентрация отмечена у сортов ‘Skyfall’ ($10,10 \pm 0,542$ балла), ‘Pinky Winky’ ($9,80 \pm 0,539$ балла) и ‘Silver Dollar’ ($9,50 \pm 0,949$ балла), наименьшая – у ‘Phantom’ ($3,80 \pm 0,396$ балла) и ‘Diamant Rouge’ ($4,70 \pm 0,260$ балла).

Наибольший показатель превосходил наименьший на 6,30 балла или в 2,66 раза. Оценки остальных сортов концентрировались вокруг обобщенного для всего массива данных значения (вариант Total): $7,12 \pm 0,261$ балла.

Интегральным и наиболее информативным показателем наличия запасных веществ выступало их суммарное содержание в тканях побегов (см. табл. 3). Наибольшие значения характерны для сортов ‘Skyfall’ ($22,45 \pm 0,584$ балла) и ‘Silver Dollar’ ($23,00 \pm 1,366$ балла), в то время как наименьшие – для сорта ‘Red Baron’ ($6,40 \pm 0,678$ балла). Разрыв между экстремальными значениями составил 16,60 балла, или 3,59 раза. Обобщенный для всех сортов показатель данного признака составил $16,41 \pm 0,507$ балла.

Сравнительный анализ (см. табл. 1, 2) показал отсутствие полного соответствия между минимумом крахмала и максимумом жиров, что обычно отражает сезонную динамику углеводно-липидного обмена у растений умеренных широт. В связи с этим нами проведена оценка отношения количества крахмала к содержанию жиров в тканях побегов (см. табл. 4).

Таблица 2

Table 2

Общее содержание жиров в тканях побегов гортензии

Total fat content in hydrangea shoot tissues

Copra / Varieties	<i>M</i>	$\pm m$	СКО	max	min	Δ_{lim}	<i>C_v</i> , %	<i>P</i> , %
‘Bouquet Rose’	7,95	0,993	3,14	11,50	4,50	7,00	39,49	12,49
‘Phantom’	3,80	0,396	1,25	5,00	2,00	3,00	32,94	10,42
‘Doppio Nuvola’	6,70	0,186	0,59	7,50	5,50	2,00	8,76	2,77
‘Pinky Winky’	9,80	0,539	1,70	12,00	8,00	4,00	17,38	5,50
‘Red Baron’	6,40	0,678	2,14	9,00	4,00	5,00	33,51	10,60
‘Fire in Ice’	5,90	0,306	0,97	7,50	5,00	2,50	16,37	5,18
‘Candlelight’	6,40	0,542	1,71	8,00	4,00	4,00	26,76	8,46
‘Mojito’	5,80	0,593	1,87	7,50	3,00	4,50	32,31	10,22
‘Diamant Rouge’	4,70	0,260	0,82	6,00	4,00	2,00	17,52	5,54
‘Strong Annabelle’	8,35	1,364	4,31	14,00	4,00	10,00	51,67	16,34
‘Skyfall’	10,10	0,542	1,71	12,50	8,50	4,00	16,96	5,36
‘Silver Dollar’	9,50	0,949	3,00	13,50	5,50	8,00	31,58	9,99
Итого Total	7,12	0,261	2,86	14,00	2,00	12,00	40,19	3,67

Примечание. Статистики см. табл. 1.

Note. Statistics see Table 1.

Таблица 3

Table 3

Суммарное содержание крахмала и жиров в побегах гортензии

Total content of starch and fats in hydrangea shoots

Copra / Varieties	<i>M</i>	$\pm m$	СКО	max	min	Δ_{lim}	<i>C_v</i> , %	<i>P</i> , %
‘Bouquet Rose’	20,85	1,319	4,17	26,00	16,50	9,50	20,00	6,33
‘Phantom’	9,75	0,716	2,26	12,50	7,00	5,50	23,22	7,34
‘Doppio Nuvola’	17,95	0,293	0,93	19,00	15,50	3,50	5,16	1,63
‘Pinky Winky’	18,65	0,395	1,25	20,00	17,00	3,00	6,69	2,12
‘Red Baron’	6,40	0,678	2,14	9,00	4,00	5,00	33,51	10,60
‘Fire in Ice’	15,90	0,314	0,99	18,00	15,00	3,00	6,25	1,98
‘Candlelight’	17,50	1,041	3,29	20,50	13,00	7,50	18,81	5,95
‘Mojito’	16,00	0,894	2,83	19,50	13,00	6,50	17,68	5,59
‘Diamant Rouge’	12,20	0,663	2,10	15,00	10,00	5,00	17,19	5,44
‘Strong Annabelle’	16,30	1,766	5,58	22,50	10,00	12,50	34,26	10,83
‘Skyfall’	22,45	0,584	1,85	24,00	19,00	5,00	8,23	2,60
‘Silver Dollar’	23,00	1,366	4,32	29,00	18,00	11,00	18,78	5,94
Итого Total	16,41	0,507	5,56	29,00	4,00	25,00	33,85	3,09

Примечание. Статистики см. табл. 1.

Note. Statistics see Table 1.

Таблица 4
Table 4Баланс содержания крахмала и жиров в тканях побегов гортензии
Balance of starch and fat content in hydrangea shoot tissues

Copra / Varieties	<i>M</i>	$\pm m$	СКО	max	min	Δ_{lim}	<i>Cv</i> , %	<i>P</i> , %
'Bouquet Rose'	1,86	0,220	0,69	2,67	1,26	1,41	37,33	11,80
'Phantom'	1,68	0,142	0,45	2,50	1,38	1,13	26,77	8,46
'Doppio Nuvola'	1,70	0,092	0,29	2,27	1,38	0,89	17,12	5,41
'Pinky Winky'	0,94	0,066	0,21	1,19	0,63	0,56	22,43	7,09
'Red Baron'	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'Fire in Ice'	1,74	0,090	0,28	2,10	1,36	0,74	16,38	5,18
'Candlelight'	1,82	0,132	0,42	2,25	1,25	1,00	22,98	7,27
'Mojito'	2,03	0,331	1,05	3,67	1,00	2,67	51,49	16,28
'Diamant Rouge'	1,60	0,054	0,17	2,00	1,45	0,55	10,73	3,39
'Strong Annabelle'	1,13	0,120	0,38	1,50	0,61	0,89	33,64	10,64
'Skyfall'	1,26	0,086	0,27	1,53	0,88	0,65	21,73	6,87
'Silver Dollar'	1,54	0,141	0,45	2,27	1,15	1,12	29,13	9,21
Итого Total	1,44	0,063	0,69	3,67	0,00	3,67	48,20	4,40

Примечание. Статистики см. табл. 1.

Note. Statistics see Table 1.

По данному признаку средние величины варьировали от $0,94 \pm 0,066$ (сорт 'Pinky Winky') до $2,03 \pm 0,331$ (сорт 'Mojito'), что соответствует разрыву в 2,16 раза. Поскольку сорт 'Red Baron' на момент проведения учетов вовсе не имел крахмала (0 баллов) во внутренних зонах его побегов, оценки баланса крахмала и жиров оказались нулевыми. Остальные образцы демонстрировали промежуточные значения и в разной степени были приближены к обобщенному среднему (вариант Total), которое равно $1,44 \pm 0,063$ единицы.

Надежными характеристиками наличия и баланса запасных веществ в тканях рассматриваемых сортов гортензии выступают показатели доли содержания крахмала (см. табл. 5) и жиров (см. табл. 6).

Данные оценки более выровнены, что подтверждается лимитами значений и коэффициентами вариации. По доле содержания крахмала диапазон средних варьировал от $0,48 \pm 0,019$ (сорт 'Pinky Winky') до $0,64 \pm 0,019$ (сорт 'Candlelight') и $0,64 \pm 0,034$ (сорт 'Mojito'). Разрыв между экс-

тремумами составил 1,33 раза, или 0,16 пункта, при обобщенном среднем 1,33 раза или на 0,16 пунктов, в то время как обобщенное среднее составило $0,54 \pm 0,017$ пунктов. Доля содержания жиров в тканях побегов оказалась чуть более вариабельной с оценками от $0,36 \pm 0,019$ (сорт 'Candlelight') и $0,36 \pm 0,034$ (сорт 'Mojito') до $0,52 \pm 0,019$ (сорт 'Pinky Winky'). Превышение большей из них над меньшей было в 1,44 раза, или на 0,16 пунктов, а их обобщенное среднее составило $0,46 \pm 0,017$ пунктов.

Следует отдельно обратить внимание на оценки сорта 'Red Baron', у которого крахмал не был обнаружен в тканях побегов. По этой причине отношение крахмала к жирам было нулевым, а отношение жиров к крахмалу достигло 1.

Масштабы различий между сортами гортензии и степень влияния наследственной специфики последних на формирование общего фона фенотипической изменчивости показателей их физиологического состояния позволил оценить однофакторный дисперсионный анализ (табл. 7).

Таблица 5

Table 5

Доля содержания крахмала в тканях побегов гортензии
Starch content share in hydrangea shoot tissues

Copra / Varieties	M	$\pm m$	СКО	max	min	Δlim	C_v , %	P , %
‘Bouquet Rose’	0,63	0,026	0,08	0,73	0,56	0,17	12,97	4,10
‘Phantom’	0,62	0,017	0,05	0,71	0,58	0,14	8,71	2,75
‘Doppio Nuvola’	0,63	0,012	0,04	0,69	0,58	0,11	5,91	1,87
‘Pinky Winky’	0,48	0,019	0,06	0,54	0,38	0,16	12,56	3,97
‘Red Baron’	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
‘Fire in Ice’	0,63	0,012	0,04	0,68	0,58	0,10	6,18	1,96
‘Candlelight’	0,64	0,019	0,06	0,69	0,56	0,14	9,19	2,91
‘Mojito’	0,64	0,034	0,11	0,79	0,50	0,29	16,73	5,29
‘Diamant Rouge’	0,61	0,007	0,02	0,67	0,59	0,07	3,83	1,21
‘Strong Annabelle’	0,51	0,031	0,10	0,60	0,38	0,22	18,82	5,95
‘Skyfall’	0,55	0,019	0,06	0,60	0,47	0,14	10,69	3,38
‘Silver Dollar’	0,60	0,020	0,06	0,69	0,53	0,16	10,56	3,34
Итого Total	0,54	0,017	0,18	0,79	0,00	0,79	33,56	3,06

Примечание. Статистики см. табл. 1.

Note. Statistics see Table 1.

Таблица 6

Table 6

Доля содержания жиров в тканях побегов гортензии
Fat content share in hydrangea shoot tissues

Copra / Varieties	M	$\pm m$	СКО	max	min	Δlim	C_v , %	P , %
‘Bouquet Rose’	0,37	0,026	0,08	0,44	0,27	0,17	22,33	7,06
‘Phantom’	0,38	0,017	0,05	0,42	0,29	0,14	14,16	4,48
‘Doppio Nuvola’	0,37	0,012	0,04	0,42	0,31	0,11	9,89	3,13
‘Pinky Winky’	0,52	0,019	0,06	0,62	0,46	0,16	11,47	3,63
‘Red Baron’	1,00	0,000	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
‘Fire in Ice’	0,37	0,012	0,04	0,42	0,32	0,10	10,56	3,34
‘Candlelight’	0,36	0,019	0,06	0,44	0,31	0,14	16,18	5,12
‘Mojito’	0,36	0,034	0,11	0,50	0,21	0,29	29,49	9,33
‘Diamant Rouge’	0,39	0,007	0,02	0,41	0,33	0,07	6,09	1,93
‘Strong Annabelle’	0,49	0,031	0,10	0,62	0,40	0,22	19,92	6,30
‘Skyfall’	0,45	0,019	0,06	0,53	0,40	0,14	13,11	4,15
‘Silver Dollar’	0,40	0,020	0,06	0,47	0,31	0,16	15,55	4,92
Итого Total	0,46	0,017	0,18	1,00	0,21	0,79	40,15	3,67

Примечание. Статистики см. табл. 1.

Note. Statistics see Table 1.

Таблица 7

Table 7

Существенность различий между сортами гортензии по содержанию
и соотношению запасных веществ
Significance of differences between hydrangea varieties in terms of content
and ratio of reserve substances

Признаки Traits	F_{on} F_{obs}	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$) Factor influence share ($h^2 \pm s_h^2$)						Критерии различий Difference criteria	
		по Плохинскому to Plokhinsky			по Снедекору to Snedecor				
		h^2	$\pm s_h^2$	F_h^2	h^2	$\pm s_h^2$	F_h^2	HCP_{05}	D_{05}
Признак 1 Sign 1	70,03	0,8770	0,0125	70,026	0,8735	0,0129	67,771	1,242	2,105
Признак 2 Sign 2	8,53	0,4649	0,0545	8,530	0,4296	0,0581	7,393	1,947	3,299
Признак 3 Sign 3	27,62	0,7377	0,0267	27,618	0,7269	0,0278	26,134	2,647	4,486
Признак 4 Sign 4	14,12	0,5898	0,0418	14,116	0,5674	0,0441	12,877	0,414	0,701
Признак 5 Sign 5	80,03	0,8907	0,0111	80,025	0,8877	0,0114	77,589	0,056	0,095
Признак 6 Sign 6	80,03	0,8907	0,0111	80,025	0,8877	0,0114	77,589	0,056	0,095

Примечание. F_{on} – опытное значение критерия Фишера; h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния организованного фактора; F_h^2 – критерий достоверности доли влияния организованного фактора; HCP_{05} – наименьшая существенная разность на 5 %-ном уровне значимости; D_{05} – критерий Тьюки на 5 %-ном уровне значимости; число первичных единиц выборки по признаку – 120 п.е.в.

Признаки гортензии: 1 – общее содержание крахмала; 2 – общее содержание жиров; 3 – суммарное содержание крахмала и жиров; 4 – баланс содержания крахмала и жиров; 5 – доля содержания крахмала; 6 – доля содержания жиров.

Note. F_{obs} – observed value of the Fisher's F-test; h^2 – effect size of the organized factor; $\pm s_h^2$ – standard error of the effect size; F_h^2 – reliability test of the effect size; HCP_{05} – least significant difference at the 5 % significance level; D_{05} – Tukey's HSD test at the 5 % significance level; number of primary sampling units per trait – 120 units.

Hydrangea traits: 1 – total starch content; 2 – total fat content; 3 – cumulative starch and fat content; 4 – balance of starch and fat content; 5 – starch content share; 6 – fat content share.

Сравниваемые между собой сорта гортензии, расположенные на одном опытном участке, существенно различались по всему комплексу тестируемых признаков (см. табл. 7). Это подтверждено опытными критериями Фишера ($F_{on} = 8,53 \dots 80,03$), которые заметно превышали соответствующие табличные значения для заданного числа степеней свободы как на 5 %-ном, так и на 1 %-ном уровне значимости ($F_{05} = 1,87$; $F_{01} = 2,42$). Полученный итог данного этапа дисперсионного анализа позволил отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии существенных различий между сравниваемыми группировками дисперсионного комплекса. Это, в свою очередь, дало основания для его продолжения в контексте вычисления оценок эффективности влияния организованного фактора

(принадлежность к сортообразцам гортензии) на формирование общего фона фенотипической изменчивости по параметрам физиологического состояния растений на опытном участке.

В расчетах по алгоритму Плохинского доля такого эффекта достаточно высока, неодинакова по величине и составляла от $46,49 \pm 5,45$ % по общему содержанию жиров (признак 2) до $89,07 \pm 1,11$ % по доле крахмала (признак 5) и жиров (признак 6) в общем контенте запасных веществ. Вышеуказанные оценки статистически надежны, о чем свидетельствуют критерии их достоверности ($F_h^2 = 8,530 \dots 80,025$). В принятой схеме дисперсионного анализа доля влияния межсортовых различий ($h^2 \pm s_h^2$) как отношение генотипической компоненты дисперсии к ее общей фенотипической

величине адекватно коэффициенту наследуемости в широком смысле. Доля случайных факторов, обуславливающих возникновение остаточной (внутригрупповой) дисперсии, которую традиционно ассоциируют с пестротой факторов среды, не являлась доминирующей и составила от 10,93 до 53,51 %. Осуществление вычислений по алгоритму Снедекора дало вполне сопоставимые итоги (хотя несколько меньшие). Это позволило признать устойчивый характер оценок, надежность результатов анализа и успешность его завершения (см. табл. 7).

Критерии существенности различий (HCP_{05} и D_{05}) обозначили рубеж, превысив который, расхождения в тестируемых характеристиках физиологического статуса растений переходили в категорию существенных. В частности, в оценках с использованием наименьшей существенной разности (HCP_{05}) по общему содержанию крахмала (см. табл. 1) средние величины сорта 'Phantom' и сорта 'Red Baron' обеспечили существенность различий каждого из них с 11 другими в составе рассматриваемого комплекса. У сортов 'Diamant Rouge' и 'Silver Dollar' таких различий было 10, а у сортов 'Bouquet Rose', 'Pinky Winky', 'Strong Annabelle' и 'Skyfall' – 9. Остальные имели по 8 подобных разностей. По общему содержанию жиров (см. табл. 2) сложилась иная картина в проявлении сортовой специфики. Сорт 'Phantom' обладал 10 значимыми различиями с другими, сорт 'Red Baron' – 9, сорт 'Silver Dollar' – 8, а сорт 'Pinky Winky' – 7. Остальные сорта имели по 6 или 5 таких различий. Подобное заключение можно сделать в отношении других признаков, задействованных в анализе. Использование в парном сравнении оценок более строгого индикатора – критерия Тьюки (D_{05}) – дало сопоставимую с общих чертах ситуацию. Однако в этом случае количество существенных различий было ощутимо меньше.

Выводы

1. Исследованные сорта гортензии характеризуются выраженной фенотипической изменчивостью показателей содержания и баланса запасных питательных веществ в тканях годичных побегов, что служит подтверждением неодинаковых адаптационных возможностей в экологических условиях г. Нижнего Новгорода и указывает на необходимость дифференцированного подхода к их включению в ассортимент объектов озеленения.

2. Накопление в конце вегетационного периода жиров в побегах сортов 'Skyfall', 'Pinky Winky' и 'Silver Dollar' может служить индикатором их достаточной подготовленности к зимнему периоду. Аналогичные, но обратные направленные оценки дают содержание крахмала: его минимум в тканях сортов 'Phantom' и 'Red Baron' можно рассматривать как косвенный показатель зимостойкости.

3. Не зафиксировано полного соответствия максимума в концентрации жиров в клетках гортензии с минимумом наличия крахмала. Данное обстоятельство позволило признать отношение крахмала к жирам в качестве убедительной оценки степени подготовленности сравниваемых сортов гортензии к зиме. В этом случае ее минимум у сортов 'Pinky Winky' и 'Red Baron' указывает на более полное завершение процессов сезонной перестройки растительных организмов при переходе к зимнему покою.

4. Согласно полученным оценкам физиологического состояния исследованных растений наиболее подготовленными к зиме можно признать представителей сортов 'Skyfall', 'Pinky Winky', 'Silver Dollar', 'Phantom' и 'Red Baron'. На этом основании они могут быть признаны объектами со сравнительно высокими ресурсами устойчивости и рекомендованы как предпочтительные в составе городских искусственных насаждений различного функционала и конструкций.

Список источников

- Бабаев Р. Н. Содержание жиров в тканях побегов разных видов и форм березы в условиях интродукции // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021а. № 60. С. 100–104.
- Бабаев Р. Н. Содержание крахмала в однолетних побегах разных видов и форм березы // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : матер. XIX Междунар. науч.-техн. конф. (Вологда, 07 дек. 2021 г.) / отв. ред. С. М. Хамитова. Вологда : ВоГУ, 2021б. С. 153–156.

- Бабаев, Р. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Многопараметрический анализ лигнификации ксилемы представителей рода *Betula* L. // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4 (36). С. 5–15.
- Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов П. В. Наследственная обусловленность видоспецифичности тополей по содержанию крахмала в тканях побегов // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 1. С. 22–31. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-22-31
- Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Есичев А. О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях Нижегородской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 1. С. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9
- Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Бессчетнов П. В. Содержание и баланс запасных веществ в тканях побегов тополей в Нижегородском Поволжье // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 92–104. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.92-104
- Васильева О. Ю. Биологические основы интродукции декоративных растений // Растительный мир азиатской России. 2012. № 1 (9). С. 102–108.
- Гетманцева В. В. Роль интродуцентов в ландшафтном дизайне современных мегаполисов // Экология и строительство. 2023. № 2. С. 14–21.
- Дирр М. Гортензии для садов : пер. с англ. М. : Фитон+, 2021. 240 с.
- Есичев А. О., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 1. С. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27
- Коновалов М. С. Динамика запасных веществ в побегах декоративных кустарников в условиях городской среды // Субтропическое и декоративное садоводство. 2020. № 75. С. 110–118.
- Кулькова А. В. Зависимость процессов регенерации от физиологического состояния побегов на примере *Picea pungens* Engelm., f. *glauca* в условиях интродукции в Нижегородскую область // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (35). С. 33–42.
- Кулькова А. В. Межвидовая изменчивость представителей рода ель (*Picea* A. Dietr.) по содержанию крахмала в тканях побегов // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3 (11). С. 28–34.
- Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сезонные изменения пигментного состава хвои представителей рода ель в Нижегородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 22–39. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.22-39
- Прозина М. Н. Ботаническая микротехника. М. : Высш. шк., 1960. 206 с.
- Рындин А. В., Коновалов М. С. Оценка состояния декоративных кустарников в зимний период по содержанию запасных веществ // Садоводство и виноградарство. 2018. № 5. С. 41–47. DOI: 10.25591/0370-8594.2018.5.41-47
- Сорокопудова О. А., Кочергина М. В. Особенности сезонного развития и зимостойкость видов рода *Hydrangea* L. в условиях лесостепи ЦЧР // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 145–154.
- Pagter M., Jensen C. R., Petersen K. K. Effects of Chilling Cycle and Dormancy Depth on Carbon and Nitrogen Content in *Hydrangea macrophylla* Shoots // HortScience. 2008. № 43 (3). P. 661–667. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.3.661
- Reed S. M. Breeding and genetics of *Hydrangea* // Plant Breeding Reviews. 2020. Vol. 43. P. 185–210.
- Uemoto K., Yamaki S., Tao R. Relationship between Carbohydrate Content and Floral Initiation in *Hydrangea macrophylla* // The Horticulture Journal. 2014. Vol. 83, № 1. P. 66–73. DOI: 10.2503/jjshs1.CH-078
- Van Gelderen C. J. Encyclopedia of *Hydrangeas*. Portland : Timber Press, 2023. 280 p.

References

- Babaev R. N.* Fat content in shoot tissues of different birch species and forms under introduction conditions // Actual Problems of the Forest Complex. 2021a. № 60. P. 100–104. (In Russ.)
- Babaev R. N.* Starch content in annual shoots of different birch species and forms // Actual Problems of Forest Complex Development : Proc. of the XIX Int. Scientific and Technical Conf. (Vologda, December 7, 2021) / Ed. S. M. Khamitova. Vologda : Vologda State University, 2021b. P. 153–156. (In Russ.)
- Babaev R. N., Beschetnova N. N., Beschetnov V. P.* Multiparameter analysis of xylem lignification of representatives of the genus *Betula* L. // Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2022. № 4 (36). P. 5–15. (In Russ.)
- Beschetnova N. N., Beschetnov V. P., Beschetnov P. V.* Content and balance of reserve substances in the tissues of poplar shoots in the Nizhny Novgorod Volga region // Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. 2020. Issue 232. P. 92–104. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.92-104 (In Russ.)
- Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Besschetnov P. V.* Hereditary determination of poplar species specificity for starch content in shoot tissues // Forestry Bulletin. 2021. Vol. 25, № 1. P. 22–31. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-22-31 (In Russ.)
- Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Yesichev A. O.* Assessment of the physiological state of representatives of the genus larch (*Larix* Mill.) in the Nizhny Novgorod region // News of higher educational institutions. Forestry magazine. 2018. № 1. P. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9 (In Russ.)
- Dirr M.* Hydrangeas for Gardens. Translated from English. Moscow : Fiton, 2021. 240 p.
- Getmantseva V. V.* The role of introduced species in the landscape design of modern megacities // Ecology and Construction. 2023. № 2. P. 14–21.
- Konovalov M. S.* Dynamics of reserve substances in the shoots of ornamental shrubs in an urban environment // Subtropical and ornamental gardening. 2020. № 75. P. 110–118. (In Russ.)
- Kulkova A. V.* Dependence of regeneration processes on the physiological state of shoots: the example of *Picea pungens* Engelm., f. *glauca* under conditions of introduction into the Nizhny Novgorod region // Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2022. № 3 (35). P. 33–42. (In Russ.)
- Kulkova A. V.* Interspecific variability of representatives of the genus spruce (*Picea* A. Dietr.) in starch content in shoot tissues // Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2016. № 3 (11). P. 28–34. (In Russ.)
- Kulkova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P.* Seasonal changes in the pigment composition of needles of representatives of the genus Spruce in the Nizhny Novgorod region // Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. 2021. Issue 235. P. 22–39. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.22-39 (In Russ.)
- Pagter M., Jensen C. R., Petersen K. K.* Effects of Chilling Cycle and Dormancy Depth on Carbon and Nitrogen Content in *Hydrangea macrophylla* Shoots // HortScience. 2008. № 43 (3). P. 661–667. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.3.661
- Prozina M. N.* Botanical Microtechnics. Moscow : Vysshaya Shkola, 1960. 206 p.
- Reed S. M.* Breeding and genetics of *Hydrangea* // Plant Breeding Reviews. 2020. Vol. 43. P. 185–210.
- Ryndin A. V., Konovalov M. S.* Assessment of the State of Ornamental Shrubs in Winter Based on the Content of Reserve Substances // Horticulture and Viticulture. 2018. № 5. P. 41–47. DOI: 10.25591/0370-8594.2018.5.41-47 (In Russ.)
- Sorokopudova O. A., Kochergina M. V.* Features of Seasonal Development and Winter Hardiness of *Hydrangea* L. Species in the Forest-Steppe Conditions of the Central Chernozem Region // Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences. 2018. Vol. 42, № 2. P. 145–154. (In Russ.)
- Uemoto K., Yamaki S., Tao R.* Relationship between Carbohydrate Content and Floral Initiation in *Hydrangea macrophylla* // The Horticulture Journal. 2014. Vol. 83, № 1. P. 66–73. DOI: 10.2503/jjshs1.CH-078

- Van Gelderen C. J.* Encyclopedia of Hydrangeas. Portland : Timber Press, 2023. 280 p.
- Vasilyeva O. Yu.* Biological basis for the introduction of ornamental plants // *Flora of Asian Russia*. 2012. № 1 (9). P. 102–108. (In Russ.)
- Yesichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P.* Content and Balance of Reserve Substances in Siberian Larch Shoots under Reintroduction Conditions in the Nizhny Novgorod Region // *Forestry Bulletin*. 2022. Vol. 26, № 1. P. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27 (In Russ.)
- Yesichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P.* Fat Content in Siberian Larch Shoot Tissues under Reintroduction Conditions in the Nizhny Novgorod Region // *Conifers of the Boreal Zone*. 2021. Vol. 39, № 3. P. 180–190. (In Russ.)

Информация об авторах

Н. Н. Бессчетнова – доктор сельскохозяйственных наук, доцент;
В. П. Бессчетнов – доктор биологических наук, профессор;
А. И. Шабанова – аспирант.

Information about the authors

N. N. Besschetnova – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor;
V. P. Besschetnov – Doctor of Biological Sciences, Professor;
A. I. Shabanova – Postgraduate Student.

Статья поступила в редакцию 26.04.2025; принята к публикации 15.07.2025.
The article was submitted 26.04.2025; accepted for publication 15.07.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 75–85.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 75–85.

Научная статья

УДК 630*11; 630*181

10.51318/FRET.2026.98.3.008

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО (*ACER NEGUNDO* L.) ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Елена Михайловна Рунова¹, Анна Викторовна Павшок²

^{1,2} Братский государственный университет, Братск, Россия

¹ runova0710@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>

² annapavshok@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0002-2718-7568>

Аннотация. В статье представлены результаты оценки состояния инвазивного вида *Acer negundo* L. (клен ясенелистный) в условиях промышленного города Братска (Иркутская область), расположенного в зоне резко континентального климата и высокого уровня загрязнения атмосферы. С применением метода неразрушающей инструментальной диагностики – резистографии – проанализировано внутреннее состояние древесины модельных деревьев в трех административных районах города (Центральном, Падунском, Правобережном). Установлено, что 74,29 % обследованных деревьев находятся в стадии сильной деструкции древесины, при этом наиболее неблагоприятное состояние зафиксировано в Правобережном районе. Выявлена прямая зависимость между диаметром ствола и возрастом деревьев; средний прирост по диаметру варьируется от 4,82 до 5,64 мм/год. Сравнение с данными по Воронежу и Екатеринбургу показало, что, несмотря на суровые климатические условия и техногенную нагрузку, показатели прироста клена ясенелистного в Братске сопоставимы с таковыми в других регионах, что подтверждает его высокую адаптивную способность. Сделан вывод о целесообразности использования *Acer negundo* L. в озеленении северных промышленных городов при условии регулярного мониторинга состояния деревьев резистографией для своевременного выявления аварийных экземпляров.

Ключевые слова: древесные породы в городской среде Братска, *Acer negundo* L., достоинства и недостатки *Acer negundo* L., резистография, состояние древесины, средний прирост по диаметру

Для цитирования: Рунова Е. М., Павшок А. В. Оценка состояния клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) инструментальными методами // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 75–85.

Original article

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF ASH-LEAVED MAPLE (*ACER NEGUNDO* L.) USING INSTRUMENTAL METHODS

Elena M. Runova¹, Anna V. Pavshok²

^{1,2} Bratsk State University, Bratsk, Russia

¹ runova0710@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>

² annapavshok@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0002-2718-7568>

Abstract. This article presents the results of an assessment of the invasive species *Acer negundo* L. (ash-leaved maple) in the industrial city of Bratsk (the Irkutsk Region), located in a zone of sharply continental climate and high levels of air pollution. Using a non-destructive instrumental diagnostic method – resistography – the internal condition of the wood of model trees in three administrative districts of the city (Central, Padun, and Pravoberezhny) was analyzed. It was found that 74,29 % of the examined trees were in a stage of severe wood destruction, with the most unfavorable condition recorded in the Pravoberezhny district. A direct correlation was found between trunk diameter and tree age; average diameter growth ranged from 4,82 to 5,64 mm/year. A comparison with data from Voronezh and Yekaterinburg revealed that, despite harsh climatic conditions and anthropogenic impacts, growth performance of ash-leaved maple trees in Bratsk is comparable to that of other regions, confirming its high adaptability. A conclusion was reached regarding the feasibility of using *Acer negundo* L. in landscaping northern industrial cities, provided that tree condition is regularly monitored using resistography to promptly identify damaged specimens.

Keywords: tree species in the urban environment of Bratsk, *Acer negundo* L., advantages and disadvantages of *Acer negundo* L., resistography, wood condition, average diameter increase

For citation: Runova E. M., Pavshok A. V. Assessment of the condition of ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) using instrumental methods // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 75–85.

Введение

В настоящее время оценка состояния древесных пород в условиях города ориентирована на решение прикладных задач и привлекает внимание многих специалистов (Чернышенко, Козлова, 2019; Уфимцева, Терехина, 2018; Гаврилин, 2011). Особую значимость приобретают исследования устойчивости и жизнеспособности деревьев в урбоэкосистемах, расположенных в северных регионах (Рунова и др., 2021).

Братск относится к крупнейшим промышленным центрам Восточной Сибири и находится на севере Иркутской области. Географически он расположен в южной части Среднесибирского плоскогорья (подзона южной тайги) на берегу Братского водохранилища в зоне очень высокого потенциала загрязнения атмосферы. С 1995 г. город вхо-

дит в приоритетный список населенных пунктов России с наиболее высоким уровнем загрязнения атмосферы.

Город находится в зоне резко континентального климата: зимы здесь длительные и холодные, а лето короткое и жаркое. Годовой объем осадков – 369 мм, из которых только четверть выпадает в холодное полугодие, а три четверти – в теплое. Показатель суммы положительных температур колеблется от 1500 до 1620 °С. Снежный покров (в среднем 40–50 см) максимален в конце февраля – первой декаде марта.

Относящийся к семейству Sapindaceae Juss. листопадный вид *Acer negundo* L. (клен ясенелистный, или американский) в естественных условиях произрастает на востоке Северной Америки. Однако сегодня он получил широкое распространение

на других континентах – в Южной Америке, Евразии, Австралии и Африке, что привело к возникновению вторичного ареала (Коляда, 2022). Интродукция в Европу состоялась еще в XVII в., а в Россию вид попал в 1796 г. В начале XX столетия его признали перспективным для озеленения и начали сознательно внедрять в естественные экосистемы.

Основными достоинствами *Acer negundo* L. являются быстрый рост, нетребовательность к почвам, устойчивость к температурным колебаниям, устойчивость к антропогенным нагрузкам, хороший прирост биомассы (Колтунова, 2018), опыление ветром, распространение пневой порослью и семенами, причем процесс распространения идет очень быстро (Соколова, 2018), низкая себестоимость создаваемых насаждений. К числу негативных характеристик вида относятся малая декоративность, хрупкость ветвей (снеголом) и невысокая долговечность (Клен ясенелистный..., 2022). В лесу клен способен существовать до 80–100 лет, тогда как в условиях промышленного мегаполиса продолжительность жизни падает до 30 лет, а деревья старше 50 лет рассматриваются как критически старые (Жуков, 2016). Также выделяют исключительно высокую корнеотпрысковую активность, ведущую к формированию густых зарослей; аллергенную пыльцу; выделение корнями и листвой токсических соединений (Колтунова, 2018); выраженное аллелопатическое действие на семена других видов (Соколова, 2018); а также способность окислять вещества автомобильных выхлопов в более агрессивные соединения (Силаева, 2013). В результате *Acer negundo* L. был включен сибирскими ботаниками в «Черную книгу флоры Сибири» (2016).

Необходимо отметить, что многие аборигенные виды растений не выдерживают воздействия неблагоприятных факторов внешней среды, поэтому полное исключение *Acer negundo* L. из озеленения нерационально. Л. В. Аношкина рекомендует включить *Acer negundo* L. в ассортимент деревьев и кустарников для озеленения г. Братска, что будет способствовать повышению эстетических качеств зеленых насаждений, расширению их площади и улучшению экологической обстановки в границах городской застройки (Аношкина, 2021).

По результатам обследования состояния зеленых насаждений для выполнения работ по подготовке перспективного плана озеленения города на период 2022–2026 гг. клен ясенелистный произрастает в некоторых микрорайонах Центрального, Падунского и Правобережного районов г. Братска. При этом отмечено, что *Acer negundo* L. – одно из инвазивных растений Сибири и при широком распространении он может представлять опасность всей системе озеленения города (Ремизова, Стрельцов, 2020).

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель исследования – оценка состояния клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) инструментальными методами.

Задача исследования – изучить состояние древесины *Acer negundo* L. на территории г. Братска; произвести расчеты среднего прироста по диаметру; выявить зависимость диаметра клена ясенелистного от возраста на примере г. Братска; сравнить полученные показатели с таковыми в других регионах Российской Федерации.

Для выявления внутреннего состояния растений был выбран метод инструментальной диагностики – резистография. Резистограф (Resistograph) – это высокоточный диагностический прибор для неразрушающего контроля деревьев, выявляющий скрытые гнили, пустоты и зоны распада. Прибор бурит ствол, измеряя плотность древесины в режиме реального времени. Использование Resistograph позволило проанализировать наличие скрытых стволовых гнилей для оценки состояния древесины клена ясенелистного на территории г. Братска. С использованием Resistograph был определен возраст деревьев без его спиливания по построенным графикам (резистограммам), где каждый пик сопротивления соответствует поздней (более плотной) древесине, а спад – ранней. Количество пиков на графике от коры до центра равно количеству лет дерева.

Были определены основные места произрастания клена ясенелистного в каждом районе г. Братска. В качестве объектов исследования были выбраны деревья клена ясенелистного в следующих

жилых районах: в Центральном районе г. Братска обследовано 12 деревьев, в Падунском районе г. Братска – 10 деревьев, в Правобережном районе г. Братска – 13 деревьев.

На рис. 1 представлены схемы расположения участков.

Объекты исследования расположены на значительном расстоянии друг от друга: от Центрального района до Падунского – 22 км, до Правобережного района – 36 км. Общее состояние и возрастная структура клена ясенелистного слабо изменчива по районам г. Братска.



Рис. 1. Расположение объектов исследований:
а – в Центральном районе; б – в Падунском районе; в – в Правобережном районе
Fig. 1. Location of research objects:
а – in the Central District; б – in the Padun District; в – in the Pravoberezhny District

Результаты и их обсуждение

Для оценки качества деревьев с использованием результатов резистограмм проведена оценка по трем показателям, а именно: древесина без признаков деструкции, древесина в начальной стадии гнили и сильная степень деструкции (рис. 2).

Так, например, в Центральном районе древесины без признаков деструкции больше на 5,22 %, чем в Падунском районе, и на 11,53 %, чем в Право-

бережном. Большая степень деструкции древесины наблюдается в Правобережном районе (18,24 %), в то время как в Центральном меньше на 5,99 %, а в Падунском – на 9,44 %. Древесина в начальной стадии гнили наиболее выражена в Падунском районе (23,15 %), что больше на 3,13 %, чем в Правобережном и на 8,67 %, чем в Центральном районе.

По результатам резистограмм проведена оценка состояния клена ясенелистного (рис. 3):

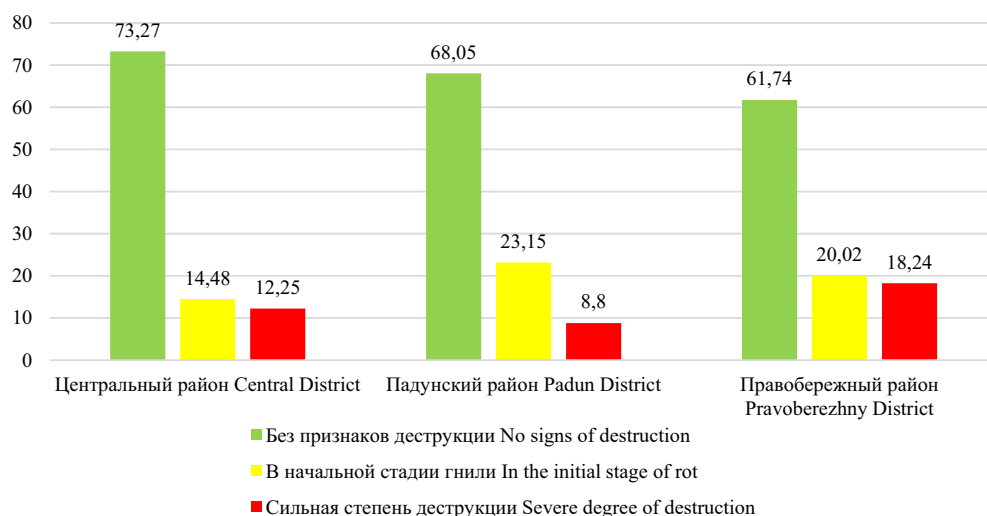


Рис. 2. Сравнительные результаты резистограмм *Acer negundo* L. г. Братска, %
Fig. 2. Comparative results of resistograms for *Acer negundo* L. Bratsk, %

5,7 % (два дерева) без признаков деструкции, 20 % (семь деревьев) в начальной стадии гнили, 74,29 % (26 деревьев) – сильная степень деструкции. При этом из них 3,03 % с ядровой гнилью, 24,24 % с периферической гнилью, 72,73 % с ядровой и периферической гнилью. На рис. 4 представлены некоторые из полученных резистограмм.

Приведенные резистограммы демонстрируют широкий спектр состояний древесины клена ясенелистного в урбанизированной среде г. Братска – от полностью здоровой (а) до тяжелых форм деструкции с сочетанным поражением ядра и периферии (б). Выявленные паттерны (а – е) могут быть использованы для диагностики и классификации степени повреждения древесины *Acer negundo* L. при оценке аварийности деревьев в условиях резко континентального климата и техногенного воздействия.

В табл. 1 представлены результаты измерения диаметра клена ясенелистного по резистограммам, а также среднего прироста по диаметру за год по всем районам г. Братска.

Средний прирост по диаметру

$$Z_d = \frac{D_{1,3}}{A}, \quad (1)$$

где D – его диаметр на высоте 1,3 м от земли, мм;
 A – возраст дерева, лет.

Полученные данные представлены графически (рис. 5).

Анализируя рис. 5, видим, что наибольший показатель прироста по диаметру клена ясенелистного наблюдается в Правобережном районе (5,6 мм), а минимальный показатель – в Центральном (4,82 мм). Застройка выбранных районов города, а значит, и их озеленение путем посадки клена ясенелистного различается по историческим датам: годы постройки Правобережного района – 1950–60-е, Падунского района – начало 1980-х, Центрального района – конец 1980-х – начало 1990-х гг. Таким образом, по рис. 5 видно, что чем старше деревья, тем больше показатель среднего прироста по диаметру.

Далее проанализирована зависимость диаметра клена ясенелистного от возраста по каждому району города (рис. 6).

Как показывает рис. 6, коэффициент детерминации у всех уравнений выше 0,83, что говорит о высокой тесноте связи между данными показателями.

В. Н. Егоров (1982) дает некоторые результаты исследований по возрасту и среднему диаметру клена ясенелистного в Центрально-Черноземной полосе России. Л. И. Аткина и М. В. Жукова (2017) также приводят результаты исследований по возрасту и среднему диаметру клена ясенелистного.

Полученные результаты сравнения представлены графически (рис. 7).

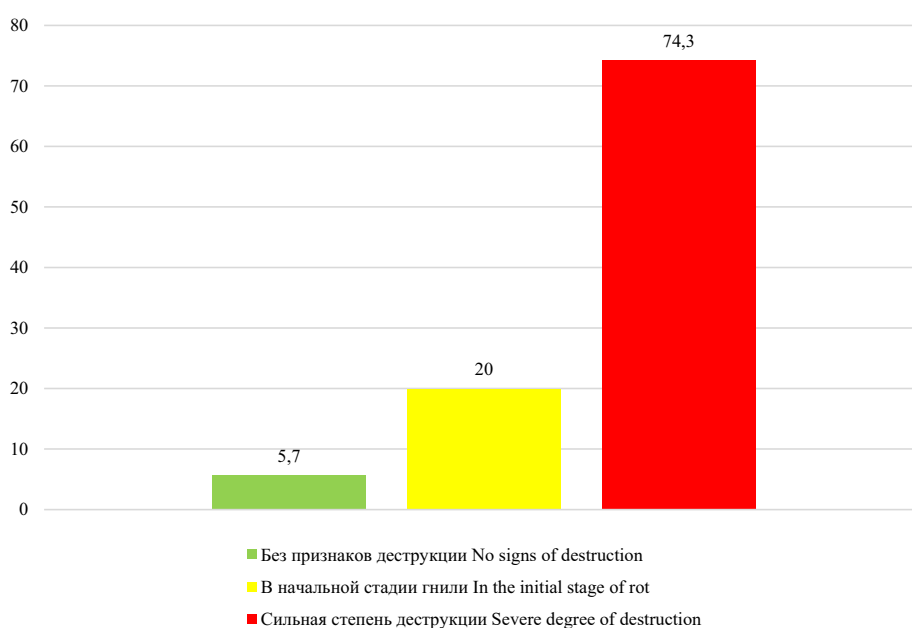


Рис. 3. Состояние *Acer negundo* L. в г. Братске, %
Fig. 3. Condition of *Acer negundo* L. in Bratsk, %

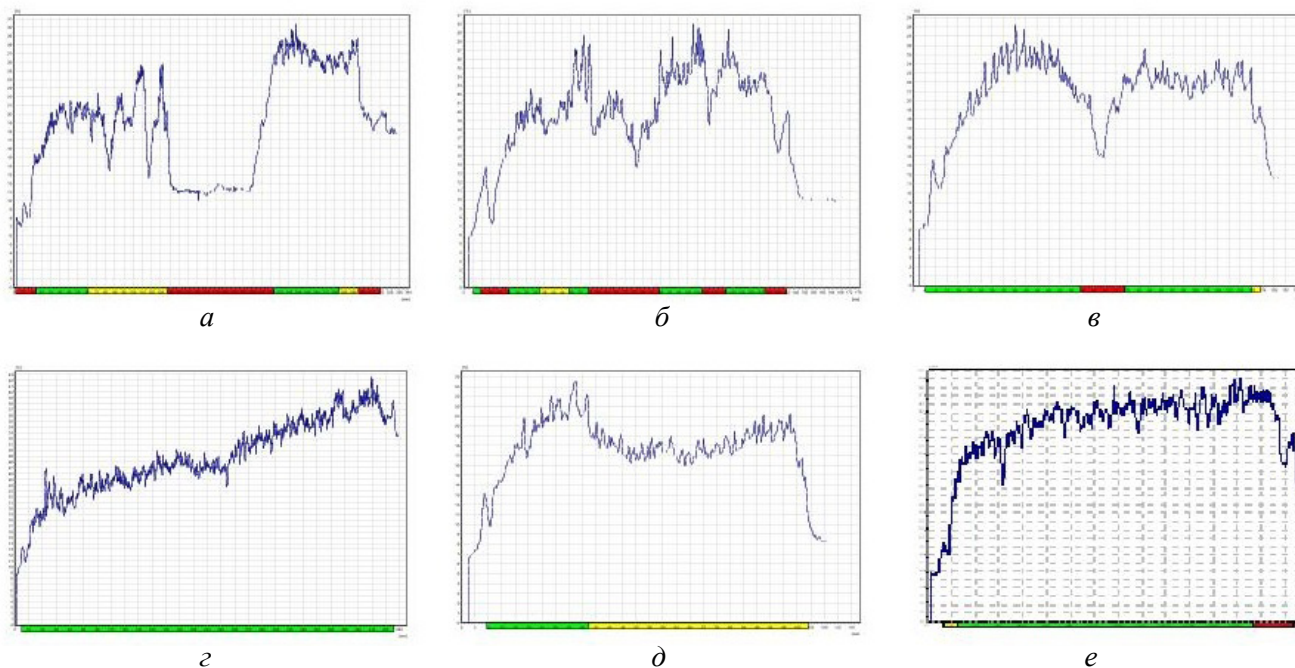


Рис. 4. Примеры резистограмм *Acer negundo* L. в г. Братске:

a – наличие дупла; *б* – с ядровой и периферической гнилью; *в* – с ядровой деструкцией;
г – без признаков деструкции; *д* – в начальной стадии гнили; *е* – с периферической деструкцией

Fig. 4. Examples of resistograms of *Acer negundo* L. in Bratsk:

a – presence of a hollow; *б* – with core and peripheral rot; *в* – with core destruction;
г – no signs of destruction; *д* – in the initial stage of rot; *е* – with peripheral destruction

Таблица 1

Table 1

Средний прирост *Acer negundo* L. за год в г. Братске

Average annual growth of *Acer negundo* L. in Bratsk

Центральный Central District			Падунский Padun Distric			Правобережный Pravoberezhny District		
Диаметр, см Diameter, cm	Возраст, лет Age, years	Средний прирост, мм/год Average annual growth, mm/year	Диаметр, см Diameter, cm	Возраст, лет Age, years	Средний прирост, мм/год Average annual growth, mm/year	Диаметр, см Diameter, cm	Возраст, лет Age, years	Средний прирост, мм/год Average annual growth, mm/year
30	62	4,84	20	36	5,72	32	49	6,49
12	23	5,48	20	33	5,94	22	36	6,16
10	25	4,32	18	35	5,06	8	20	4,20
12	22	5,36	18	35	5,26	44	66	6,54
10	26	4,00	14	24	5,75	16	27	5,67
34	64	5,16	10	23	4,65	24	38	6,42
14	29	5,1	24	42	5,76	18	26	6,57
12	23	5,13	12	27	4,26	20	33	5,91
12	27	4,26	18	37	5,05	14	26	5,38
14	30	4,9	24	37	6,49	20	32	6,31
22	41	5,19	–	–	–	10	23	4,17
8	18	4,11	–	–	–	14	27	5,26
–	–	–	–	–	–	12	28	4,25

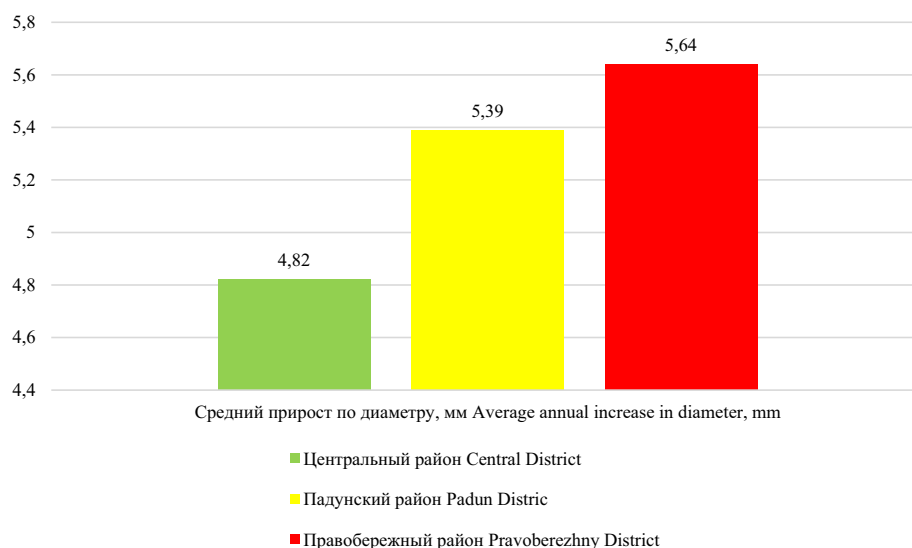


Рис. 5. Средние показатели прироста по диаметру *Acer negundo* L. в г. Братске, мм
Fig. 5. Average diameter growth rates of *Acer negundo* L. in Bratsk, mm

Как показывает рис. 7, коэффициент детерминации у всех уравнений выше 0,88, что подтверждает зависимость диаметра от возраста.

По результатам исследования В. Н. Егорова, Л. И. Аткиной и М. В. Жуковой рассчитан прирост по диаметру клена ясенелистного в г. Воронеже и г. Екатеринбурге (табл. 2).

В табл. 3 представлены результаты расчетов среднего прироста по диаметру за год в трех городах Российской Федерации с разным климатом, среднегодовой температурой и вегетационным периодом.

Полученные данные представлены графически (рис. 8).

Разницу в приросте по диаметру можно оценить по рис. 8: самый высокий прирост в Екатеринбурге (5,5 мм), самый низкий – в Воронеже (4,83 мм). Среднее значение прироста в г. Братске незначительно уступает лидеру – на 4,2 %. Полученные данные можно объяснить недостаточностью выборки модельных деревьев старших возрастных групп по г. Воронежу и г. Екатеринбургу, хотя общая тенденция зависимости диаметра от возраста, как показывает рис. 7, подтверждается.

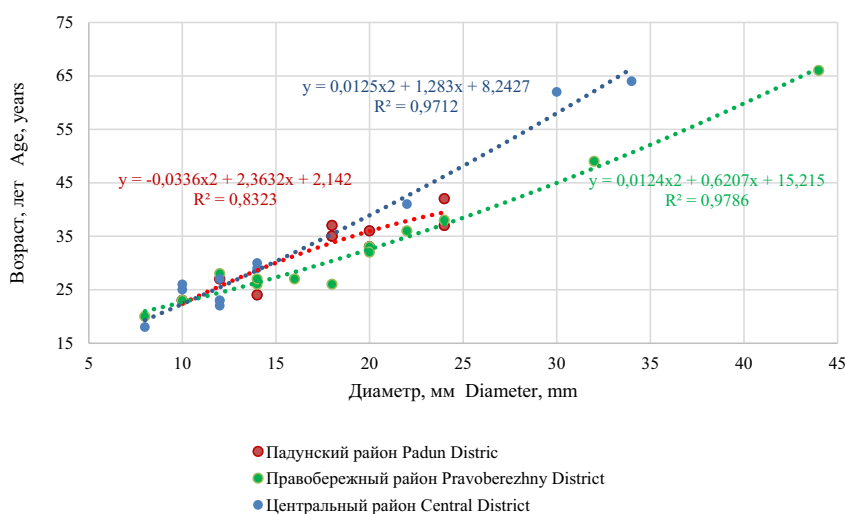


Рис. 6. Зависимость диаметра от возраста у *Acer negundo* L. в г. Братске
Fig. 6. Dependence of diameter and age of *Acer negundo* L. in Bratsk

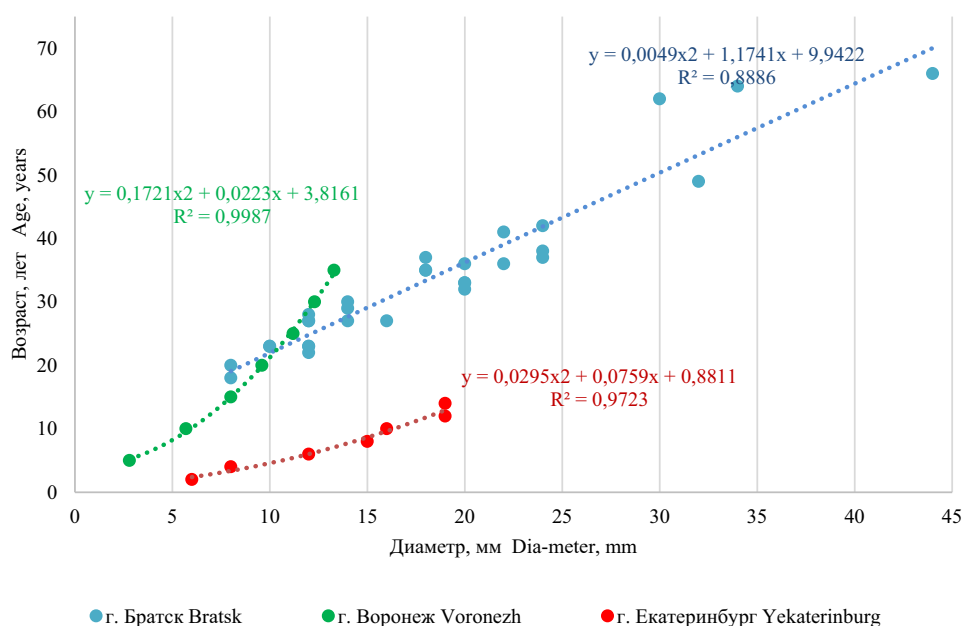


Рис. 7. Сравнение зависимости диаметра и возраста *Acer negundo* L. в г. Братске, г. Воронеже и г. Екатеринбурге

Fig. 7. Comparison of the dependence of diameter and age *Acer negundo* L. in Bratsk, Voronezh and Yekaterinburg

Таблица 2

Table 2

Средний прирост по диаметру *Acer negundo* L. за год

Average annual increase in diameter of *Acer negundo* L.

г. Братск Bratsk			г. Воронеж Voronezh			г. Екатеринбург Yekaterinburg		
Диаметр, см Diameter, cm	Возраст, лет Age, years	Прирост по диаметру, мм/год Increase in diameter, mm/year	Диаметр, см Diameter, cm	Возраст, лет Age, years	Прирост по диаметру, мм/год Increase in diameter, mm/year	Диаметр, см Diameter, cm	Возраст, лет Age, years	Прирост по диаметру, мм/год Increase in diameter, mm/year
7,4	18	4,11	2,8	5	5,60	2	6	3,33
8,4	20	4,20	5,7	10	5,70	4	8	5,00
9,6	23	4,17	8,0	15	5,30	6	12	5,00
11,9	28	4,25	9,6	20	4,80	8	15	5,33
14,7	30	4,90	11,2	25	4,48	10	16	6,25
17,7	35	5,06	12,3	30	4,10	12	19	6,32
21,3	41	5,19	13,3	35	3,80	14	19	7,37
Средний прирост Average growth		5,28	Средний прирост Average growth		4,83	Средний прирост Average growth		5,51

Выводы

1. В результате проведенного исследования состояния *Acer negundo* L. в условиях г. Братска с применением метода резистографии были получены новые данные о качестве древесины, воз-

растной структуре и ростовых процессах данной породы в трех административных районах.

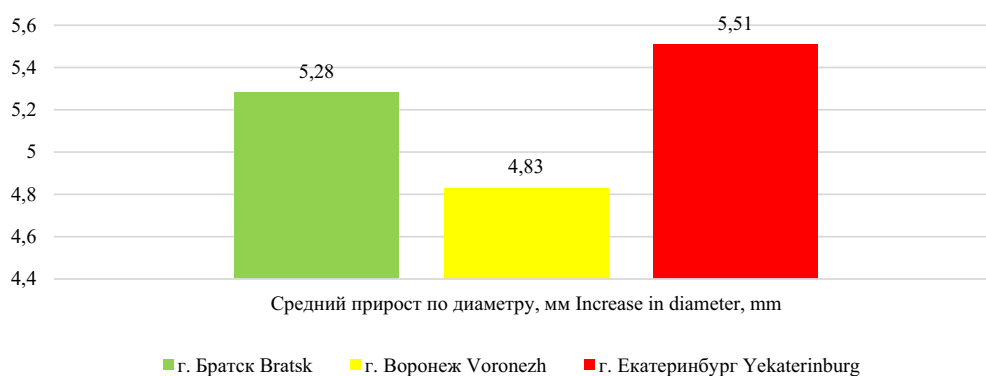
2. Анализ резистограмм показал, что подавляющее большинство обследованных деревьев (74,29 %) находится в стадии сильной деструкции

Таблица 3

Table 3

Средний прирост *Acer negundo* L. за годAverage annual growth of *Acer negundo* L.

Прирост по диаметру по районам г. Братска, мм/год Increase in diameter by district of Bratsk, mm/year		Прирост по диаметру, мм/год Increase in diameter, mm/year		
		г. Братск Bratsk	г. Воронеж Voronezh	г. Екатеринбург Yekaterinburg
Центральный Central'nyj	4,82	5,28	4,83	5,51
Падунский Padunskij	5,39			
Правобережный Pravoberezhnyj	5,64			

Рис. 8. Сравнение средних показателей прироста по диаметру *Acer negundo* L.Fig. 8. Comparison of average diameter growth rates for *Acer negundo* L.

древесины, причем у 72,73 % из них зафиксировано одновременное наличие ядровой и периферической гнили. Наилучшее состояние древесины отмечено в Центральном районе (73,27 % деревьев без признаков деструкции), тогда как в Правобережном районе доля сильно ослабленных деревьев максимальна (18,24 %), что может быть связано с более старшим возрастом насаждений и длительным техногенным воздействием.

3. Изучение возрастной динамики выявило тесную зависимость между диаметром ствола и возрастом деревьев. Установлено, что средний прирост по диаметру варьируется в зависимости от района: минимальное значение зафиксировано в Центральном районе (4,82 мм/год), максимальное – в Правобережном (5,64 мм/год). Выявленная тенденция демонстрирует, что более высокие темпы прироста характерны для более старых насаждений, заложенных в 1950–1960-е гг.

4. Сравнение с данными по городам Воронежу и Екатеринбургу показало, что, несмотря на суровые климатические условия (резко континентальный климат, короткий вегетационный период) и высокий уровень антропогенной нагрузки, средний прирост клена ясенелистного в Братске (в среднем 5,28 мм) сопоставим с показателями в данных городах.

5. Учитывая высокий процент скрытых стволовых гнилей (особенно в Правобережном и Падунском районах), для обеспечения безопасности городской среды и продления жизненного цикла зеленых насаждений необходимо внедрение регулярного мониторинга состояния деревьев инструментальными методами (резистографией) для своевременного выявления аварийных экземпляров и планирования мероприятий по уходу за древостоем.

Список источников

- Аношкина Л. В. Перспективы использования интродуцентов в озеленении городов Сибири // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 60. С. 184–187.
- Аткина Л. И., Жукова М. В. Особенности формирования надземной фитомассы деревьев третьей величины и крупных кустарников в уличных посадках Екатеринбурга. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 77 с.
- Гаврилин И. И. Некоторые особенности газопоглощительной способности деревьев в урбоэкосистеме г. Братска // Вестник КрасГАУ. 2011. № 5 (56). С. 219–224.
- Егоров В. Н. Ход роста ползающих лесных полос из клена ясенелистного в Центрально-Черноземной полосе // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1982. № 1. С. 23–25.
- Жуков Р. С., Ломоносова Л. М. Клен ясенелистный в городских лесах Москвы // Научное обозрение. Биологические науки. 2016. № 3. С. 49–50.
- Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в озеленении г. Екатеринбурга / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, В. С. Котова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 12 (126). URL: <https://research-journal.org/archive/12-126-2022-december/10.23670/IRJ.2022.126.19> (дата обращения: 14.03.2026).
- Колтунова А. И. Негативные последствия интродукции клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в Оренбуржье // Экология и география растений и растительных сообществ : матер. IV Междунар. науч. конф. Екатеринбург, 2018. С. 433–435.
- Коляда Н. А. Формирование монодоминантных сообществ клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на юге Дальнего Востока России // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 2. С. 14–23.
- Ремизова С. С., Стрельцов А. Б. Использование онтогенетического и фенетического подходов для экологической оценки качества окружающей среды на примере клена ясенелистного *Acer negundo* L. в г. Калуге // Вестник Калужского университета. 2020. № 4. С. 78–81.
- Рунова Е. М., Гарус И. А., Орлова Ю. В. Оценка состояния качества окружающей среды промышленной зоны Братска // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 60. С. 154–158.
- Силаева Т. Б. О Красной книге и других «цветных» (или «разноцветных») книгах // Russian scientific world. 2013. № 1 (1). С. 101–107.
- Соколова Г. Г. Оценка стабильности развития клена ясенелистного в разных условиях произрастания // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : сб. науч. ст. по матер. XVII Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 24–27 мая 2018 г.). Барнаул : Изд-во АлтГУ, 2018. С. 389–392.
- Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Интегральная экофитоиндикация состояния природных и антропогенных геосистем // Актуальные вопросы биогеографии : матер. Междунар. конф., Санкт-Петербург, 09–12 октября 2018 года. СПб. : СПб. гос. ун-т, 2018. С. 418–422.
- Черная книга флоры Сибири / науч. ред. Ю. К. Виноградова, отв. ред. А. Н. Куприянов. Новосибирск : Гео, 2016. 440 с.
- Чернышенко О. В., Козлова Д. В. Оценка поглощительной способности городских лесов // Лесной комплекс в цифровой экономике : тез. докл. Междунар. симпозиума, Москва, 02–05 декабря 2019 года. М. : Научные технологии, 2019. С. 146–147.

References

- Anoshkina L. V. Prospects for the use of introducents in the greening of siberian cities // Current issues of the forestry complex. 2021. № 60. P. 184–187. (In Russ.)
- Atkina L. I., Zhukova M. V. Features of the formation of aboveground phytomass of third-magnitude trees and large shrubs in street plantings of Yekaterinburg. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2017. 77 p.

- Box ash (*Acer negundo* L.) in the landscaping of Yekaterinburg / N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, V. S. Kotova [et al.] // International Research Journal. 2022. № 12 (126). URL: <https://research-journal.org/archive/12-126-2022-december/10.23670/IRJ.2022.126.19> (accessed 14.03.2026).
- Chernyshenko O. V., Kozlova D. V. Assessment of the Absorption Capacity of Urban Forests // Forest Complex in the Digital Economy : Abstracts of the International Symposium, Moscow, December 2–5, 2019. Moscow : Scientific Technologies, 2019. P. 146–147. (In Russ.)
- Egorov V. N. Growth Course of Ash-Leaved Maple Shelterbelts in the Central Black Earth Belt // News of Higher Educational Institutions. Forest Journal. 1982. № 1. P. 23–25. (In Russ.)
- Gavrilin I. I. Some Features of Gas Absorption Capacity of Trees in the Urban Ecosystem of Bratsk // Bulletin of KrasSAU. 2011. № 5 (56). P. 219–224. (In Russ.)
- Koltunova A. I. Negative consequences of the introduction of box elder (*Acer negundo* L.) in the Orenburg region // Ecology and geography of plants and plant communities : Proceedings of the IV International Scientific Conference. Yekaterinburg, 2018. P. 433–435. (In Russ.)
- Kolyada N. A. Formation of monodominant communities of box elder (*Acer negundo* L.) in the south of the Russian Far East // Forestry Bulletin. 2022. Vol. 26, № 2. P. 14–23. (In Russ.)
- Remizova S. S., Streltsov A. B. Use of ontogenetic and phenetic approaches for ecological assessment of environmental quality using the example of box elder *Acer negundo* L. in Kaluga // Bulletin of Kaluga University. 2020. № 4. P. 78–81. (In Russ.)
- Runova E. M., Garus I. A., Orlova Yu. V. Assessment of the state of environmental quality in the industrial zone of Bratsk // Actual problems of the forest complex. 2021. № 60. P. 154–158. (In Russ.)
- Silaeva T. B. About the Red Book and other «colored» (or «multi-colored») books // Russian scientific world. 2013. № 1 (1). P. 101–107. (In Russ.)
- Sokolova G. G. Assessment of the developmental stability of box elder under different growing conditions // Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia : Coll. sci. articles based on the materials of the XVII international scientific-practical conf. (Barnaul, May 24–27, 2018). Barnaul : Altai State University Publishing House, 2018. P. 389–392. (In Russ.)
- The Black Book of Siberian Flora / Ed. Yu. K. Vinogradova, Responsible Ed. A. N. Kupriyanov. Novosibirsk : Geo, 2016. 440 p.
- Ufimtseva M. D., Terekhina N. V. Integral ecophytoindication of the state of natural and anthropogenic geosystems // Actual issues of biogeography : Materials of the International Conference, St. Petersburg, October 9–12, 2018. St. Petersburg : Saint Petersburg State University, 2018. P. 418–422. (In Russ.)
- Zhukov R. S., Lomonosova L. M. Ash-Leaved Maple in Moscow Urban Forests // Scientific Review. Biological Sciences. 2016. № 3. P. 49–50. (In Russ.)

Информация об авторах

Е. М. Рунова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
А. В. Павшок – аспирант.

Information about the authors

E. M. Runova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
A. V. Pavshok – graduate student.

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; принята к публикации 04.06.2026.

The article was submitted 27.04.2026; accepted for publication 04.06.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 86–97.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 86–97.

Научная статья

УДК 630.223: 630.57: 630.468

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.009

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ Г. ДАЛАТА РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ

Анастасия Васильевна Данчева¹, Ольга Александровна Фомина²,
Анастасия Владимировна Касторнова³, Сергей Вениаминович Залесов⁴

^{1–3} Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

⁴ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ a.dancheva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5230-7288>

² os-stolbova@mai.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5445-1710>

³ a.v.kastornova@utmn.ru, <http://orcid.org/0009-0004-6667-8698>

⁴ Zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

Аннотация. Приведены данные исследования состояния одновозрастных чистых по составу сосновых насаждений естественного происхождения, произрастающих в провинции Lam Dong на территории г. Далата и в его окрестностях. Отмечается, что климатические условия города Далата обуславливают произрастание внутри и вокруг города насаждений с доминированием в составе древостоев сосны далатской (*Pinus dalatensis*). В основу исследований положен метод временных пробных площадей (ВПП), которые закладывались в соответствии с известными апробированными методиками. Для установления влияния интенсивности рекреационных нагрузок на состояние сосновых насаждений ВПП закладывались на разном удалении от центра города. Так, ВПП-1 заложена в парке в самом центре города, ВПП-2 – в 5 км от центра города, а ВПП-3 – в 20 км от центра и служила контролем. Естественно, что по мере удаления от центра города интенсивность рекреационной нагрузки на насаждения снижается, что не может не сказаться на состоянии насаждений. Установлено, что по показателю жизненного состояния на всех ВПП преобладают ослабленные экземпляры. Количество здоровых деревьев в условиях наибольшего антропогенного и техногенного воздействия (ВПП-1) на 35–50 % меньше в сравнении с таковым на ВПП-2 и ВПП-3. Отмирающие и сильно ослабленные по состоянию деревья характеризуются наименьшими диаметрами, что указывает на угнетение, ослабление и отмирание в первую очередь мелких по диаметру деревьев под воздействием факторов антропогенной и техногенной нагрузки. На ВПП-2 и ВПП-3 преобладающее количество сильно ослабленных и отмирающих по состоянию деревьев представлено в более крупных естественных ступенях – 0,9–1,0, что наиболее характерно для естественного процесса жизни древостоя. В целях повышения устойчивости сосновых насаждений необходимо ликвидировать несанкционированные свалки, своевременно проводить выборочные санитарные рубки и сократить рекреационные нагрузки в насаждениях, произрастающих в парках города, за счет благоустройства прилегающих к городу насаждений, т. е. за счет перераспределения рекреантов.

Ключевые слова: сосновые насаждения, городские леса, состояние древостоев

Для цитирования: Оценка состояния сосновых насаждений в условиях городской среды г. Далата Республики Вьетнам / А. В. Данчева, О. А. Фомина, А. В. Касторнова, С. В. Залесов // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 86–97.

Original article

ASSESSMENT OF THE STATE OF PINE PLANTATIONS IN THE URBAN ENVIRONMENT OF DALAT, REPUBLIC OF VIETNAM

Anastasia V. Dancheva¹, Olga A. Fomina², Anastasia V. Kastornova³, Sergey V. Zalesov⁴

¹⁻³ Tyumen State University, Tyumen, Russia

⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ a.dancheva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5230-7288>

² os-stolbova@mai.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5445-1710>

³ a.v.kastornova@utmn.ru, <http://orcid.org/0009-0004-6667-8698>

⁴ Zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

Abstract. The article presents the data of the research of the state of same-age, pure in composition pine plantations of natural origin growing in the province of Lam Dong in the city of Dalat and its environs. It is noted that the climatic conditions of the city of Dalat determine the growth of plantations with the dominance of Dalat pine (*Pinus dalatensis*) in the composition of forest stands inside and around the city. The research is based on the method of temporary sample plots (TSP), which were laid out in accordance with known and officially approved methods. To establish the influence of the intensity of recreational loads on the state of pine plantations, TSPs were laid out at different distances from the city center. Thus, TSP-1 was laid out in a park in the city centre. TSP-2 was five kilometers far from the city centre, and TSP-3 was 20 kilometers from the centre and served as a reference value. Naturally, as the recreational load is removed from the city centre, the intensity of the recreational load on the plantings decreases, which cannot but affect the condition of the plantations. It was installed that, by indicator of living conditions, weakened specimens predominate on all temporary sample plots. The number of healthy trees in conditions of the greatest anthropogenic and technogenic impact (TSP-1) is 35–50 % less compared to TSP-2 and TSP-3. Dying and severely weakened trees are characterized by the smallest diameters, which indicates oppression, weakening and dying, primarily of small-diameter trees under the influence of anthropogenic and technogenic load factors. On TSP-2 and TSP-3, the predominant number of severely weakened and dying trees is presented in larger natural stages – 0,9–1,0, which is most typical for the natural process of life of forest stand. In order to increase the sustainability of pine plantations, it is necessary to eliminate unauthorized dumps, conduct timely selective sanitary cuttings and reduce recreational loads in plantations growing in city parks by improving plantations adjacent to the city, that is, by redistributing recreationists.

Keywords: pine plantations, urban forests, forest stand state

For citation: Assessment of the state of pine plantations in the urban environment of Dalat, Republic of Vietnam / A. V. Dancheva, O. A. Fomina, A. V. Kastornova, S. V. Zalesov // Forests of Russia and economy in them. № 3 (98). P. 86–97.

Введение

Проведенные за последние десятилетия исследования учеными различных стран, связанные с изучением экологии и биоразнообразия лесов, позволили сделать схожие выводы об очевидной наблюдающейся деградации лесов в мировом масштабе, угрожающей разрушением экосистем, как вполне ожидаемой и реальной перспективы (Состояние..., 2002; Влияние..., 2006; Biodiversity..., 2012; Глобальная оценка..., 2015; Залесов и др., 2017). Урбанизация городов, интенсивное развитие в них транспортных систем и городских коммуникаций способствуют прогрессирующему снижению площади биосферы, сокращению природного биоразнообразия с угрозой дальнейшей неспособности его восстановления и развития, и, как следствие, снижению объемов депонирования углерода и продуцирования кислорода.

Проблема экологического состояния окружающей среды и биосферы Республики Вьетнам является одним из основных вопросов ежегодной повестки Совета Партии страны (Plan Trong Huan, Nguyen Thi Lan, 2019; Для решения..., 2020). Колоссальные выбросы от транспортных средств, неправильное городское планирование, неконтролируемая законодательством промышленная деятельность являются угрозой социально-экономическому развитию. Основной составляющей наиболее загрязненных в Юго-Восточной Азии мегаполисов являются практически все крупные города Вьетнама.

В небольших городах атмосфера загрязняется отходами цементных, бумажных, текстильных и других производств (Waibel, 2008; Eckert, Waibel, 2009; Развитие..., 2019). К таким городам относятся Хошимин, Ханой, Дананг. Большую нагрузку загрязнения воздуха представляет ежегодный рост количества авто и мототранспорта, которые способствуют увеличению в атмосфере углекислого газа, диоксида азота и других продуктов распада топлива. В итоге все это является факторами ухудшения состояния лесов и их гибели.

Для снижения темпов ухудшения экологической обстановки необходимо минимизировать выбросы промышленных поллютантов и автотранспорта, что сложно технически. Кроме того, для

улучшения экологической обстановки и изменения негативной ситуации особое значение имеют лесные насаждения. Последние не только улавливают пыль своими кронами и стволами, обогащают атмосферный воздух кислородом в процессе фотосинтеза, но и активно поглощают углекислый газ. При этом прирост древесины вполне можно считать интегральным показателем положительного экологического воздействия лесных насаждений на окружающую среду. Именно в древесине депонируется углерод, изымаемый с углекислым газом из атмосферного воздуха, чем достигается снижение в последнем парниковых газов (Создание..., 2025).

Однако создание и выращивание высокопроизводительных устойчивых насаждений, особенно вблизи крупных мегаполисов, требует совершенствования технологии лесовыращивания (Бунькова, Залесов, 2024). В частности, это относится к подбору ассортимента древесных пород для формирования насаждений, схемам посадки, агротехническим и лесоводственным уходам.

Следовательно, актуальной является проблема установления экологической роли лесов в различных географических условиях при различном возрасте, составе и других таксационных показателях древостоев и насаждений в целом. Не является в этом плане исключением и территория Республики Вьетнам в целом, а также г. Далата в частности.

Указанный город является столицей провинции Лам Донг и занимает площадь 977,2 тыс. га (Decision..., 2007). При наличии 26,1 тыс. га лесных угодий в г. Далат 81 % из данных земель относится к защитным. Последнее не случайно, поскольку правительство провинции, руководство города, а также партийные органы проявляют к вопросам охраны природы повышенное внимание.

Лесные насаждения характеризуются типичным для Вьетнама разнообразием древесных видов. Так, в лесном фонде города насчитывается более 400 древесных и кустарниковых видов. При этом некоторые виды относятся к особо ценным, в частности двулистная и трехлистная сосны.

Преобладающий тип климата в стране – муссонный. При этом отмечаются существенные различия в климате по территории страны (Лавров, 1965; Waibel, 2008). Так, в частности, на севере

страны, включая г. Ханой, климат характеризуется как влажный субтропический. В то же время в южной и центральной частях Вьетнама, где расположен город Далат, климат можно охарактеризовать как тропический. Особо следует отметить, что в южной части Вьетнама, расположенной вблизи экватора, смена времен года как таковая отсутствует. При этом на севере Вьетнама четко фиксируются весна, лето и осень.

На климатические условия вокруг г. Далата существенное влияние оказывает рельеф местности, в частности расположение города на центральном нагорье. Наличие вокруг города сосновых лесов также определяет специфику климатических условий. Для города и его окрестностей характерна сезонность климата. С мая по октябрь для региона характерен сезон дождей, а с ноября по апрель – сухой сезон. При этом средняя температура воздуха варьируется от 18 до 21 °С при максимальной и минимальной температурах +30 и +5 °С соответственно.

Расположение на центральном нагорье определяет наличие двух типов рельефа – горного и равнинного. Город располагается в овальной котловине, протяженность которой по длине около 18 км, по ширине – 12 км. При этом горные хребты, высота которых достигает 1,7 тыс. м, располагаются по периметру города.

Горный рельеф, включая горную равнину, предопределил мозаичность почв. В то же время подстилающая порода, имеющая вулканическое происхождение, обусловила доминирование в окрестностях города красных базальтовых почв. Для данных почв характерно высокое содержание углерода, достигающее 3 %. Специфической особенностью указанных почв является также повышенная кислотность (рН менее 4,5), относительно мощный слой гумуса, присутствие глинистых минералов и хорошая дренажная способность, препятствующая заболачиванию.

Основным лесообразователем в лесном фонде города является местный эндемик сосна далатская (*Pinus dalatensis*).

Цель, объекты и методика исследований

Цель работы – анализ состояния насаждений сосны далатской в условиях г. Далата и разработка на основе полученных данных предложений по совершенствованию лесопользования и повышению устойчивости указанных насаждений.

Исследования проводились в одновозрастных чистых насаждениях местного эндемика сосны далатской. Как отмечалось нами ранее, данный вид является преобладающим в произрастающих в городе и его окрестностях насаждениях.

В основу исследований заложен метод временных пробных площадей (ВПП). Всего было заложено 3 ВПП, одна из которых расположена непосредственно в центре г. Далата в зоне государственного учреждения *Vănphòng Đài Tiếng Nói Việt Nam tại Lâm Đồng* (рис. 1). Сосновое насаждение на данном участке используется в целях отдыха горожан, поскольку расположено в парковой зоне.

ВПП-2 находится в 5 км от центра города, что объясняет умеренную антропогенную нагрузку на произрастающие на ней сосновые насаждения. Место закладки ВПП-2 приурочено к расположению компании *Thung Lũng Hoa Medeli's*, которая специализируется на выращивании клубники и цветов *CÀ CHUA ĐENFARM*.

В качестве контрольного участка (без явных признаков антропогенного и техногенного воздействия) заложена ВПП-3. Данная ВПП находится в 20 км от центра города, что видно на рис. 2.

На заложенных ВПП был проведен сбор экспериментального материала и определены основные таксационные показатели древостоя по соответствующим методикам (Данчева, 2023; Данчева и др., 2023). Всего измерено 297 деревьев.

Общий вид соснового насаждения вблизи г. Далата представлен на рис. 3, а.

Визуальная оценка успешности лесовозобновительного процесса сосновых насаждений на ВПП показала преобладание поврежденных и нежизнеспособных по состоянию экземпляров подроста сосны на ВПП-3 (рис. 3, б) и отсутствие возобновления на ВПП-1 и 2.

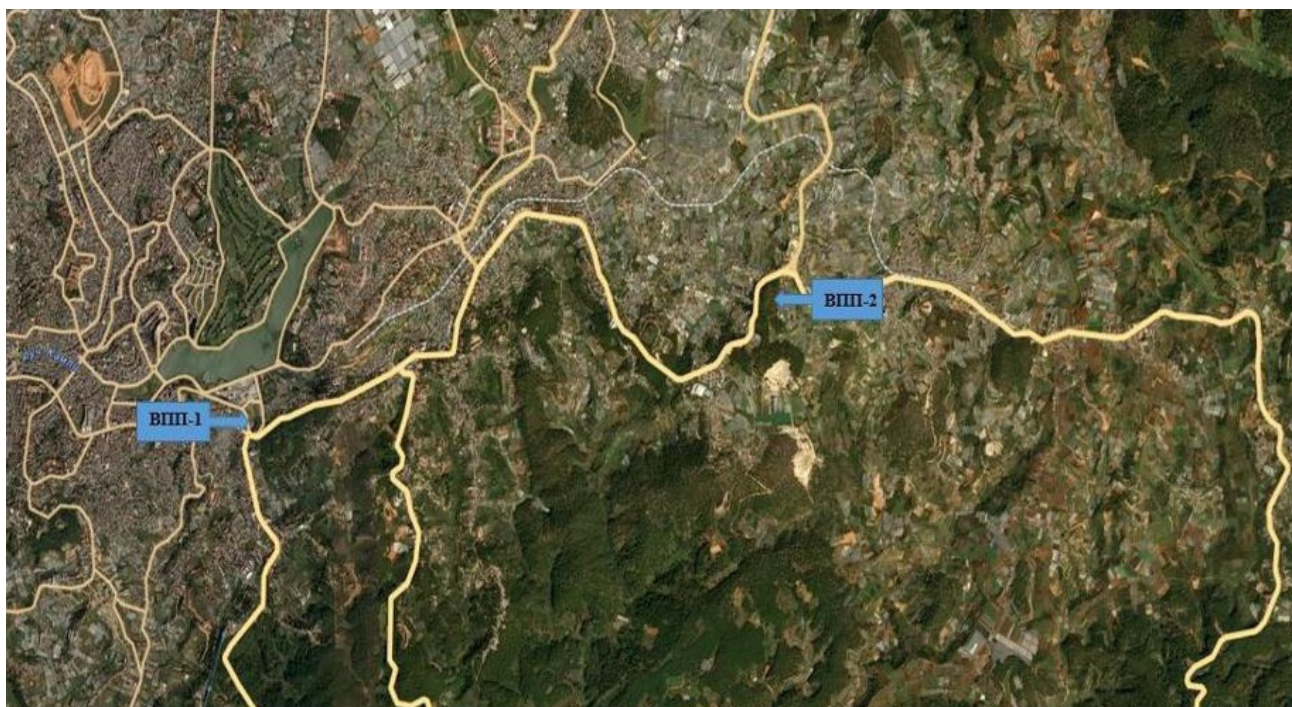


Рис. 1. Насаждение ВПП-1 и ВПП-2 на карте г. Далата
Fig. 1. Plantation of TSP-1 and TSP -2 on the map of the city of Dalat



Рис. 2. Расположение ВПП-3
Fig. 2. Location of TSP -3

*а**б*

Рис. 3. Общий вид соснового насаждения (*а*), состояние большинства подроста вблизи города Далат (*б*)
Fig. 3. General view of the pine plantation (*a*), the state of most undergrowth near the city of Dalat (*b*)

К сожалению, в г. Далате не организованы сбор твердых бытовых отходов и их централизованная переработка или утилизация. В результате в черте города и его окрестностях имеют место многочисленные стихийные свалки. Особенно часто последние встречаются в лесных насаждениях

в 2–3 км от города (рис. 4). Последнее не только ухудшает эстетический вид сосновых насаждений, но и представляет опасность для людей, животных и растений (Качество жизни..., 2012; Жилищно-коммунальное хозяйство..., 2017).



Рис. 4. Захламленность сосновых насаждений в зеленой зоне г. Далата
Fig. 4. Clutter of pine plantations in the green zone of the city of Dalat

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены основные таксационные показатели насаждений с доминированием в составе, точнее, чистых сосновых насаждений из сосны далатской.

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что объектом исследований являлись чистые сосновые насаждения 85–90 лет с относительной полнотой 0,5–0,6. Насаждения существенно различаются по запасу. Так, на ВПП-1 в центре города запас составляет 212 м³/га, в то время как в 20 км от центра

города (ВПП-3) он достигает 380 м³/га, или больше на 79,2 %. При этом древостои всех пробных площадей близки по густоте, т. е. количеству деревьев на единице площади. Последнее варьируется от 470 до 500 шт./га.

При одинаковой густоте древостоев на ВПП-1 и ВПП-3 чрезвычайно интересно строение их по диаметру. Нами выполнено распределение деревьев на ВПП по естественным ступеням толщины (рис. 5).

Таблица 1

Table 1

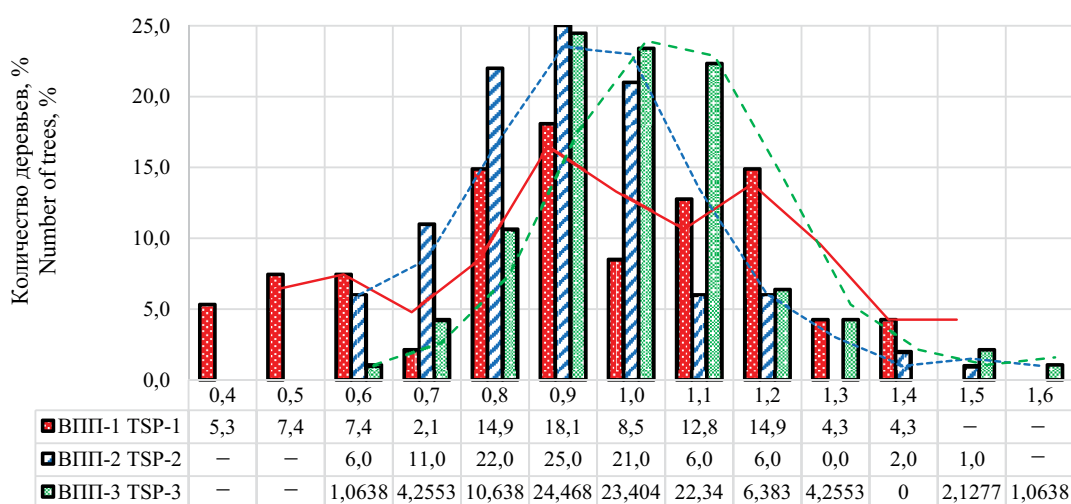
Основные таксационные показатели сосновых насаждений на ВПП

The main tax indicators of pine plantations on the TSP

№ ВПП TSP	Состав Composition	Возраст Age	Класс возраста Age class	Класс бонитета Bonitet class	Средние Average		Полнота Completeness		Запас, м ³ /га Reserve, m ³ /ha	Густота, шт./га Density, pcs/ha
					высота, м height, m	диаметр, см diameter, cm	абсолютная, м ² /га absolute, m ² /ha	относительная relative		
1	10C 10P	85	V	II	22,2	24,5	20,0	0,5	212	470
2	10C 10P	90	V	I	26,4	27,6	28,2	0,6	331	500
3	10C 10P	90	V	I	26,9	28,0	29,8	0,6	380	470

Примечание. С – сосна далатская.

Note. P – Dalat pine.



ВПП-1 TSP-1

ВПП-2 TSP-2

ВПП-3 TSP-3

Рис. 5. Распределение деревьев сосны по естественным ступеням толщины

Fig. 5. Distribution of pine trees by natural thickness steps

Материалы, приведенные на рис. 5, свидетельствуют, что в условиях интенсивной рекреационной нагрузки, которая имеет место на ВПП-1, распределение количества деревьев по естественным ступеням толщины далеко от нормального и характеризуется многовершинной кривой. При этом четко выражены пики количества деревьев в ступенях 0,6; 0,9 и 1,2. Указанное свидетельствует о том, что в отпад переходят не отставшие в росте деревья, а деревья из разных ступеней толщины, что, в свою очередь, свидетельствует о неустойчивом состоянии древостоя и необходимости принятия мер по недопущению его деградации.

Снижение антропогенной нагрузки, в том числе рекреационной, по мере увеличения расстояния от ВПП до центра города (ВПП-2 и ВПП-3)

приводит к изменению распределения деревьев по естественным ступеням толщины. Указанные распределения приближаются к кривой нормального распределения. Они представляют собой одновершинные кривые с максимальным количеством деревьев в ступенях толщины 0,8–1,1. Указанные распределения деревьев сосны далайской с учетом возраста древостоев свидетельствуют об устойчивости насаждений на ВПП-2 и ВПП-3 против неблагоприятных природных и антропогенных факторов. При этом отпад деревьев протекает по низовому методу за счет отставших в росте деревьев.

Полученные предварительные выводы подтверждаются распределением деревьев по жизненному состоянию (табл. 2 и рис. 6–8).

Таблица 2

Table 2

Доля деревьев сосны различных категорий жизненного состояния, %
The proportion of pine trees of various categories of living condition, %

№ ВПП No TSP	Категория жизненного состояния деревьев Tree life condition category			
	Здоровые Healthy	Ослабленные Weakened	Сильно ослабленные Greatly weakened	Отмирающие Dying
1	20,2	66,0	11,7	2,1
2	36,0	54,0	8,0	2,0
3	30,9	53,2	10,6	5,3

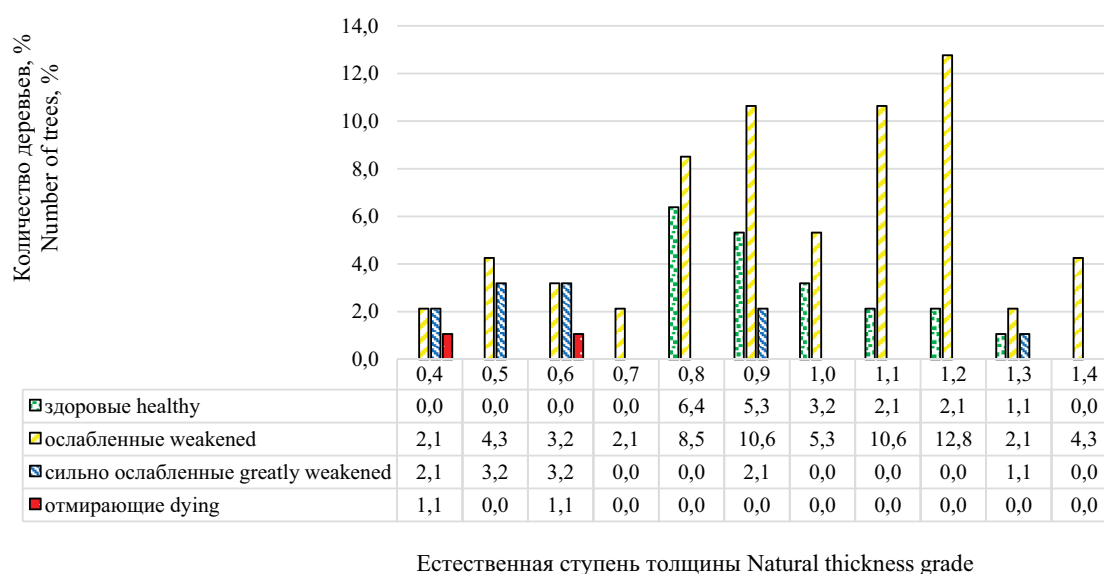
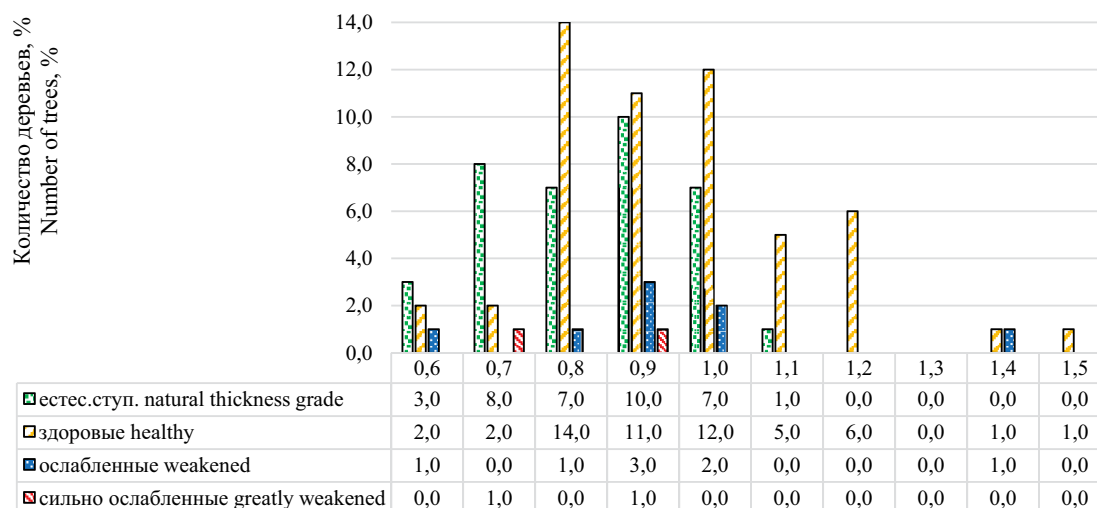


Рис. 6. Распределение деревьев различного жизненного состояния по естественным ступеням толщины в сосновых насаждениях на ВПП-1
Fig. 6. Distribution of trees of various life conditions according to natural thickness levels in pine plantations on TSP -1

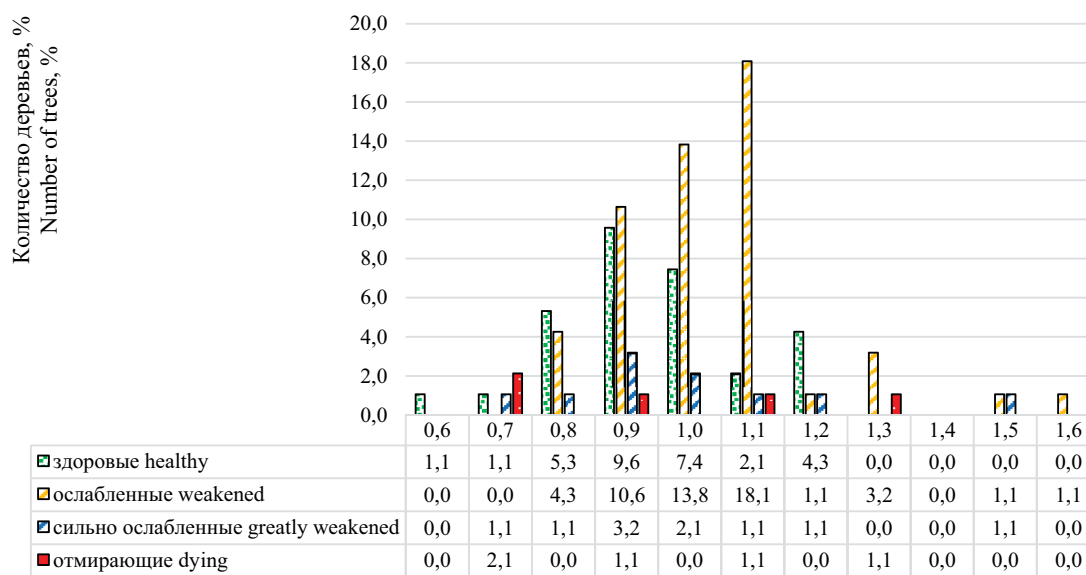
Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют, что количество здоровых деревьев на ВПП-2 и ВПП-3 больше, чем на ВПП-1, на 35–50 %. При этом на всех ВПП преобладают ослабленные экземпляры, которых больше всего отмечается на ВПП-1. Количество сильно ослабленных деревьев на всех ВПП примерно равное и не превышает 12 %. Наибольшее число отмирающих деревьев

зафиксировано на ВПП-3, расположенной на наибольшем удалении от центра антропогенного и техногенного воздействия, на расстоянии 20 км. Объяснением данного факта может быть отсутствие своевременных санитарных рубок, направленных на удаление отставших в росте, угнетенных и отмирающих деревьев.



Естественная ступень толщины Natural thickness grade

Рис. 7. Распределение деревьев различного жизненного состояния по естественным ступеням толщины в сосновых насаждениях на ВПП-2
Fig. 7. Distribution of trees of various life conditions according to natural thickness levels in pine plantations on TSP -2



Естественная ступень толщины Natural thickness grade

Рис. 8. Распределение деревьев различного жизненного состояния по естественным ступеням толщины в сосновых насаждениях на ВПП-3
Fig. 8. Distribution of trees of various life conditions according to natural thickness levels in pine plantations on TSP -3

Анализ материалов, приведенных на рис. 6 и 7, свидетельствует о доминировании на ВПП-2 и ВПП-3 здоровых деревьев в естественных ступенях толщины 0,6–1,0. При этом в насаждении с интенсивной рекреационной нагрузкой (ВПП-1) преобладающее количество здоровых деревьев представлено ступенями толщины 0,8–1,2. Отмирающие и сильно ослабленные деревья на ВПП-1 характеризуются наименьшими диаметрами. Последнее указывает на угнетение, ослабление и отмирание прежде всего тонкомерных деревьев. Однако, как было отмечено ранее, отпад протекает и в ступенях толщины выше средних.

Особо следует отметить, что доля отмирающих деревьев на ВПП-3 выше, чем на ВПП-1 и ВПП-2. На наш взгляд, это объясняется не худшим состоянием древостоев, а отсутствием санитарных рубок. Отмирающие деревья в центре города (ВПП-1 и ВПП-2) своевременно вырубаются.

Выводы

1. Исследуемые сосняки, произрастающие в условиях г. Далата и его окрестностях, представлены чистыми по составу одновозрастными среднеполнотными высокобонитетными древостоями.

2. Анализ лесовозобновительного процесса сосновых насаждений на ВПП показал преобладание поврежденных и нежизнеспособных по состо-

янию экземпляров подроста сосны на ВПП-3, расположенной на расстоянии 20 км от центра города, при отсутствии подроста на ВПП-1 и ВПП-2.

3. По мере удаления от центра города увеличивается количество здоровых деревьев с 20,2 % на ВПП-1 до 30,9 % на ВПП-3, которая удалена от центра на 20 км.

4. Высокая доля ослабленных деревьев свидетельствует о необходимости ухода за насаждениями с целью предотвращения их деградации.

5. Значительная доля отмирающих деревьев на ВПП-3 в отличие от ВПП-1 объясняется тем, что в центре города (ВПП-1) отмирающие деревья своевременно убираются, поскольку представля-ют опасность для отдыхающих.

6. В целях повышения устойчивости сосновых насаждений необходимо ликвидировать несанкционированные свалки, своевременно проводить выборочные санитарные рубки и сократить рекреационные нагрузки на насаждения, произрастающие в парках города, за счет благоустройства прилегающих к городу насаждений, т. е. за счет перераспределения рекреантов.

7. В связи с неудовлетворительным лесовосстановлением целесообразно также создание подпоговых лесных культур крупномерным посадочным материалом.

Список источников

- Бунькова Н. П., Залесов С. В. Ведение лесного хозяйства в рекреационных лесах. Екатеринбург : УГЛТУ, 2024. 129 с.
- Влияние продуктов сжигания попутного газа при добыче нефти на репродуктивное состояние сосновых древостоев в северотаежной подзоне / Д. Р. Аникеев, И. А. Юсупов, Н. А. Луганский [и др.] // Экология. 2006. № 2. С. 122–126.
- Глобальная оценка лесных ресурсов – 2015 // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (FAO) : [сайт]. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4793r.pdf> (дата обращения: 05.11.2026).
- Данчева А. В. Рациональное лесопользование с основами таксации леса. Тюмень : Гос. аграрн. ун-т Северного Зауралья, 2023. 100 с.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 146 с.
- Для решения проблемы загрязнения воздуха во Вьетнаме необходимы смелые действия // Форум Восточной Азии. 24.03.2020. URL: <https://eastasiaforum.org/2020/03/25/bold-action-needed-to-address-vietnams-air-pollution/> (дата обращения: 07.02.2026).

- Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке: экономические модели, новые технологии и практики управления / Л. С. Азаренков, Г. В. Астратова, Я. П. Силин [и др.]. М. ; Екатеринбург : Науковедение. 2017. 600 с.
- Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. URL: [http:// elar.usfeu. ru/ handle/123456789/6620](http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620) (дата обращения: 07.02.2026).
- Качество жизни: вчера, сегодня, завтра. Актуальные проблемы вступления России в ВТО / Г. В. Астратова, А. В. Мехренцев, Л. И. Пономарева [и др.]. Екатеринбург : Стратегия позитива™, 2012. 590 с.
- Лавров М. Т. Леса и животный мир Демократической Республики Вьетнам. М. : Лесн. пром-сть, 1965. 133 с.
- Развитие нижних ярусов растительности под пологом тропического леса в условиях Вьетнама / Н. В. Беляева, Тху Тху Хыонг Нгуен, Д. А. Данилов, А. В. Грязькин // Лесной журнал. 2019. № 6. С. 39–51.
- Создание карбоновых ферм на нарушенных землях / С. В. Залесов, К. А. Башегуров, А. Е. Осипенко [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2025. № 4. С. 68–76. DOI: 10.15372/SJFS 20250407
- Состояние сообществ дереворазрушающих грибов в районе нефтегазодобычи / И. В. Ставищенко, С. В. Залесов, Н. А. Луганский [и др.] // Экология. 2002. № 3. С. 175–184.
- Biodiversity and the Feel-Good Factor: Understanding Associations between Self-Reported Human Well-being and Species Richness / M. Dallimer, K. N. Irvine, A. M. J. Skinner [et al.] // BioScience. 2012. Vol. 62. Issue 1. P. 47–55. DOI: 10.1525/bio.2012.62.1.9
- Eckert Ronald, Waibel Michael. Climate Change and Challenges for the Urban Development of Ho Chi Minh City Vietnam // Pacific News. 2009. Vol. 31. P. 18–20.
- Decision № 18/2007/QĐ-TTg of the Prime Minister approving Vietnam's forestry development strategy in the 2006-2020 period, 05.02.2007. URL: <https://luatminhkhue.vn/en/decision-no-18-2007-qd-ttg-dated-february-05--2007-of-the-prime-minister-approving-vietnam-s-forestry-development-strategy-in-the-2006-2020-period.aspx> (дата обращения: 20.03.2026).
- Phan Trong Huan, Nguyen Thi Lan. A Study of Mangrove Forests in the Khanh Hoa Province of Vietnam // Lesnoy Zhurnal [Forestry Journal]. 2019. Vol. 3. P. 64–72.
- Waibel Michael. Implications and Challenges of Climate Change for Vietnam // Pacific News. 2008. № 29. P. 26–27.

References

- Biodiversity and the Feel-Good Factor: Understanding Associations between Self-Reported Human Well-being and Species Richness / M. Dallimer, K. N. Irvine, A. M. J. Skinner [et al.] // BioScience. 2012. Vol. 62. Issue 1. P. 47–55. DOI: 10.1525/bio.2012.62.1.9
- Bold action is needed to address air pollution in Vietnam / East Asia Forum. 03.24.2020. URL: <https://eastasiaforum.org/2020/03/25/bold-action-needed-to-address-vietnams-air-pollution/> (accessed 07.02.2026).
- Bunkova N. P., Zalesov S. V. Forestry Management in Recreational Forests. Yekaterinburg : USFEU, 2024. 129 p.
- Creation of Carbon Farms on Disturbed Lands / S. V. Zalesov, K. A. Bashegurov, A. E. Osipenko [et al.] // Siberian Forestry Journal. 2025. № 4. P. 68–76. DOI: 10.15372/SJFS 20250407 (In Russ.)
- Dancheva A. V. Rational forest management with the basics of forest taxation. Tyumen : State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2023. 100 p.
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S. Forest Environmental Monitoring. Yekaterinburg : USFEU, 2023. 146 p.

- Decision № 18/2007/QĐ-TTg of the Prime Minister approving Vietnam's forestry development strategy in the 2006-2020 period, 05.02.2007. URL: <https://luatminhkhue.vn/en/decision-no-18-2007-qd-ttg-dated-february-05--2007-of-the-prime-minister-approving-vietnam-s-forestry-development-strategy-in-the-2006-2020-period.aspx> (accessed 20.03.2026).
- Development of Lower Vegetation Layers under the Tropical Forest Canopy in Vietnam / *N. V. Belyaeva, Thi Thu Huong Nguyen, D. A. Danilov, A. V. Gryazkin* // *Forestry Journal*. 2019. № 6. P. 39–51. (In Russ.)
- Eckert Ronald, Waibel Michael*. Climate Change and Challenges for the Urban Development of Ho Chi Minh City Vietnam // *Pacific News*. 2009. Vol. 31. P. 18–20.
- Global Forest Resources Assessment – 2015 // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) : [website]. URL: <http://www.fao.org/3/a-i4793r.pdf> (accessed 05.11.2026).
- Housing and public utilities and quality of life in the 21st century: economic models, new technologies and management practices / *L. S. Azarenkov, G. V. Astratova, Ya. P. Silin* [et al.]. Moscow ; Yekaterinburg : Naukovedenie. 2017. 600 p.
- Quality of Life: Yesterday, Today, Tomorrow. Current Issues of Russia's Accession to the WTO / *G. V. Astratova, A. V. Mekhrentsev, L. I. Ponomareva* [et al.]. Yekaterinburg : Strategy of Positive™, 2012. 590 p.
- Lavrov M. T.* Forests and Fauna of the Democratic Republic of Vietnam. Moscow : Forest industry, 1965. 133 p.
- Phan Trong Huan, Nguyen Thi Lan*. A Study of Mangrove Forests in the Khanh Hoa Province of Vietnam // *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal]. 2019. Vol. 3. P. 64–72.
- Status of Wood-Destroying Fungi Communities in an Oil and Gas Production Area / *I. V. Stavishenko, S. V. Zalesov, N. A. Lugansky* [et al.] // *Ecology*. 2002. № 3. P. 175–184. (In Russ.)
- The Impact of Gas Flaring Products During Oil Production on the Reproductive Status of Pine Stands in the Northern Taiga Subzone / *D. R. Anikeyev, I. A. Yusupov, N. A. Lugansky* [et al.] // *Ecology*. 2006. № 2. P. 122–126. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V.* The state of forest stands affected by industrial pollutants of Karabashmed CJSC and the response of their components to renewal cuttings. Yekaterinburg : Ural state forest Engineering university, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (accessed 07.02.2026).
- Waibel Michael*. Implications and Challenges of Climate Change for Vietnam // *Pacific News*. 2008. № 29. P. 26–27.

Информация об авторах

- А. В. Данчева* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент;
О. А. Фомина – кандидат технических наук;
А. В. Касторнова – кандидат сельскохозяйственных наук;
С. В. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

- A. V. Dancheva* – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor;
O. A. Fomina – Candidate of Technical Sciences;
A. V. Kastornova – Candidate of Agricultural Sciences;
S. V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 25.03.2026; принята к публикации 15.05.2026.

The article was submitted 25.03.2026; accepted for publication 15.05.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 98–107.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 98–107.

Научная статья

УДК 630*232:631.11(470.12)

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.010

СПЕЦИФИКА ЗАРАСТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Лилия Валерьевна Зарубина¹, Юлия Андреевна Платонова²,
Виктория Андреевна Зайцева³

^{1–3} Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н. В. Верещагина,
Вологда, Россия

¹ liliya270975@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3834-0521>

² qwplatonova@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0006-6012-1500>

³ selizeonka@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0001-7692-2314>

Аннотация. По результатам Второй всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г. в Вологодской области было выявлено, что 48,9 % площадей, предназначенных для сельского хозяйства, находятся в запустении. Регион оказался среди первых двадцати регионов России по количеству заброшенных пахотных угодий. Сложное экономическое положение сельхозпроизводителей привело к сокращению поголовья скота и необходимости в пастбищах и сенокосах, и, как следствие, началось их интенсивное зарастание древесно-кустарниковой растительностью. Цель работы состояла в изучении интенсивности зарастания постагrogenных земель. Задачей исследования являлось определение скорости и интенсивности роста естественного возобновления древесной и кустарниковой растительности на участках бывшего сельскохозяйственного назначения. Исследования особенностей лесовосстановительных сукцессий проводились в пределах сельскохозяйственных угодий в 2024 г. Шесть изученных земельных участков являются бывшими сенокосами и не использовались по назначению около 15 лет. На постагrogenных землях естественное возобновление древесных пород преимущественно представлено сосной (средний возраст – 10 лет, средняя высота – более 3 м, размещение – групповое). В среднем степень зарастания изученных нами полей составила 21 %. Для перевода в покрытую лесом площадь лишь два участка отвечают требованиям. Плодородие исключенных из сельскохозяйственного оборота земель превышает таковое под пологом близлежащих насаждений. Зарастание сельскохозяйственных угодий происходит неравномерно на разном расстоянии от стен леса, что вызывает необходимость продолжения исследований и планирования частичных лесных культур или мер содействия естественному возобновлению. Реализация федерального проекта по эффективному использованию сельскохозяйственных земель на территории Вологодской области вызывает необходимость установления целесообразности расчистки уже заросших древесной растительностью земель с учетом потенциального плодородия почвы.

Ключевые слова: Вологодская область, таежная зона, сенокосы, древесно-кустарниковая растительность, зарастание

Для цитирования: Зарубина Л. В., Платонова Ю. А., Зайцева В. А. Специфика зарастания сельскохозяйственных угодий древесной растительностью в Вологодской области // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 98–107.

Original article

SPECIFIC FEATURES OF AGRICULTURAL LAND OVERGROWING WITH WOODY VEGETATION IN THE VOLOGDA REGION

Lilia V. Zarubina¹, Yulia A. Platonova², Victoria A. Zaitseva³

^{1–3} Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin, Vologda, Russia

¹ liliya270975@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3834-0521>

² qwplatonova@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0006-6012-1500>

³ selizeonka@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0001-7692-2314>

Abstract. According to the results of the Second All-Russian Agricultural Census of 2016, 48,9 % of agricultural land in the Vologda Region was abandoned. The region ranked among the top twenty regions in Russia for the amount of abandoned cropland. The challenging economic situation of agricultural producers led to a decline in livestock numbers and the need for pastures and hayfields, leading to their rapid overgrowing with trees and shrubs. The aim of this research was to investigate the rate of reforestation of post-agrogenic lands. The objective of the research was to determine the rate and intensity of natural regeneration of trees and shrubs on former agricultural lands. Research into the characteristics of reforestation successions was conducted within agricultural lands in 2024. Six of the researched land plots were former hayfields and had not been used for their intended purpose for approximately 15 years. On post-agrogenic lands, natural regeneration of tree species is predominantly represented by pine (average age 10 years, average height over 3 m, clustered). The average degree of overgrowing in the fields we researched was 21 %. Only two plots meet the requirements for conversion to forested land. The fertility of lands removed from agricultural use exceeds that of adjacent plantations. Agricultural lands are becoming overgrown unevenly at different distances from forest walls, necessitating continued research and planning for partial forest crops or measures to promote natural regeneration. The implementation of a federal project for the efficient use of agricultural land in the Vologda Region necessitates determining the feasibility of clearing lands already overgrown with woody vegetation, taking into account the potential fertility of the soil.

Keywords: the Vologda Region, taiga zone, hayfields, tree and shrubbery vegetation, overgrowing

For citation: Zarubina L. V., Platonova Yu. A., Zaitseva V. A. Specific features of agricultural land overgrowing with woody vegetation in the Vologda region // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 98–107.

Введение

Общая территория Вологодской области равна примерно 14,5 млн га. Большая ее часть представлена лесным фондом (почти 80 %), занимающим около 11,5 млн га. Земли сельскохозяйственного назначения составляют лишь немногим более 11 % территории региона (около 1,6 млн га). По результатам Второй всероссийской сельскохозяй-

ственной переписи 2016 г. в Вологодской области было выявлено, что 48,9 % площадей, предназначенных для сельского хозяйства, находятся в запустении. Этот показатель превышает среднее значение по Северо-Западному федеральному округу, которое составило 44,5 %. Таким образом, регион оказался среди первых двадцати регионов России по количеству заброшенных пахотных угодий.

По официальным данным правительства региона, в 2024 г. по сравнению с 2023 г. площадь земель сельскохозяйственного назначения в регионе сократилась в связи с переводом их в другие категории: в земли населенных пунктов, особо охраняемых территорий и объектов промышленности (Катаев, 2025), часть этих территорий зарастает древесно-кустарниковой растительностью.

Интенсивное зарастание бывших сельскохозяйственных угодий объясняется целым рядом объективных и субъективных факторов (Залесов и др., 2004; 2009; 2010; Новоселова и др., 2016; Жижин, Магасумова, 2021; Жижин, Залесов, 2025). Прежде всего это сложное экономическое положение сельхозпроизводителей, что привело к сокращению поголовья скота и необходимости в пастбищах и сенокосах.

Формирование древесно-кустарниковой растительности вызвало необходимость проведения хозяйственных мероприятий на бывших сельскохозяйственных угодьях с целью их более рационального использования и снижения пожарной опасности (Рост..., 2015; Густота..., 2016; Кректунов, Залесов, 2017; Архипов, Залесов, 2017; Формирование..., 2021).

Таким образом, сформировалась проблема неиспользования сельскохозяйственных земель по их прямому назначению.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель работы состояла в изучении интенсивности зарастания постагrogenных земель. Задачей исследования являлось определение скорости и интенсивности роста естественного возобновления древесной и кустарниковой растительности на участках бывшего сельскохозяйственного назначения. Исследования особенностей лесовосстановительных сукцессий проводились в пределах сельскохозяйственных угодий в 2024 г. Площадь исследованных участков варьирует от 0,3 до 7,5 га.

В процессе исследования нами были изучено шесть сельскохозяйственных участков, которые не использовались по назначению около 15 лет на территории Кирилловского муниципального округа. Эти земельные участки являются бывшими

сенокосами и находятся в ведении Министерства сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Вологодской области.

В основу исследований заложен метод пробных площадей (ПП). Все ПП закладывались в соответствии с апробированными методиками (Основы..., 2020; Данчева и др., 2023). На каждой ПП в результате сплошного перече́та были определены количество экземпляров и породный состав растений, а также таксационные характеристики. Химический анализ почвы выполнен в лаборатории Северо-Западного научно-исследовательского института молочного и лугопастбищного хозяйства – подразделения Вологодского научного центра РАН.

Результаты и их обсуждение

Общая площадь опытных участков составила 16,7 га. Полученные в ходе сплошного перече́та естественного возобновления древесных пород данные представлены в табл. 1.

По данным табл. 1 можно отметить, что естественное возобновление древесных пород на постагrogenных землях представлено в основном сосной, средняя высота которой превышает 3 м, а средний возраст – 10 лет. Так же важно отметить ее групповое размещение. Доля нежизнеспособного подростa незначительна – 0,1 %, а сухой практически отсутствует – 0,03 %.

На количественные и качественные показатели молодняков, формирующихся на исключенных из сельскохозяйственного использования землях, кроме типа почв лесорастительной подзоны и площади участков, оказывает влияние удаленность от стены леса. Исследования показали (Залесов и др., 2004; Новоселова и др., 2016), что, если прилегающие насаждения представлены хвойными породами, в частности елью, их доля в составе формируемых древостоев увеличивается. Последнее легко объясняется упрощением процесса налета семян. Особенно интенсивно протекает процесс зарастания на мелкоконтурных сельскохозяйственных угодьях. При значительной площади полей их зарастание протекает от периферии к центру, что также объясняется возможностью налета семян. Важно отметить, что зарастание изученных сельскохозяйственных угодий по площади идет

неравномерно, полосами, располагающимися на разной удаленности от стены леса (в среднем от 20 до 100 м) (табл. 2). Прилегающие к опытным участкам насаждения представлены сосновыми насаждениями с примесью березы.

Анализ данных показал, что в среднем степень зарастания изученных нами полей составила 21 %. Научное сообщество сегодня выделяет четыре стадии запущенности земель: первая – начало зарастания (1–5 лет), когда на поле одиночные молодые деревья и кустарники, вторая – 5–10 лет, когда высота деревьев доходит до 6–7 м, третья –

10–15 лет, когда формируется древесно-кустарниковый ярус разной высоты. Зарастание четвертой степени требует самых больших финансовых затрат, поскольку на участке растет молодой лес (Передовые практики..., 2021). Несмотря на то, что изученные нами участки выведены из сельскохозяйственного использования более 15 лет назад, зарастание их древесной растительностью находится на второй стадии.

Густота естественного возобновления на бывших сенокосах представлена на рис. 1, а на рис. 2 – высотная структура.

Таблица 1
Table 1

Таксационная характеристика естественного возобновления
на объектах исследования
Taxation characteristics of natural regeneration at the research objects

Объект исследования Object of research	Порода Wood species	Характеристика естественного возобновления Characteristics of natural regeneration			
		Средние Average			Встречаемость, % Occurrence, %
		возраст, лет age, years	высота, см height, cm	прирост по высоте, см/год height increase, cm/year	
Участок 1 Section 1	Сосна Pine	9	302	38	25
	Ель Spruce	4	51	15	5
	Береза Birch	5	324	–	5
	Ольха Alder	6	277	–	2
Участок 2 Section 2	Сосна Pine	10	337	37	33
Участок 3 Section 3	Сосна Pine	10	311	43	30
Участок 4 Section 4	Сосна Pine	11	317	40	30
	Береза Birch	8	314	–	20
Участок 5 Section 5	Сосна Pine	9	284	37	20
	Ель Spruce	5	53	18	7
Участок 6 Section 6	Сосна Pine	9	315	40	33

Таблица 2

Table 2

Степень зарастания сельскохозяйственных угодий древесной растительностью
The degree of overgrowing of agricultural land of woody vegetation

Объект исследования Object of research	Среднее расстояние от стены леса до естественного лесовосстановления, м Average distance from the forest wall to natural reforestation, m	Общая площадь объекта исследования, га Total area of the research object, ha	Степень зарастания, % Degree of overgrowing, %
Участок 1 Section 1	20	1,2	36
Участок 2 Section 2	0	2,2	20
Участок 3 Section 3	0	0,3	20
Участок 4 Section 4	35	3,0	18
Участок 5 Section 5	100	7,5	10
Участок 6 Section 6	0	2,5	67

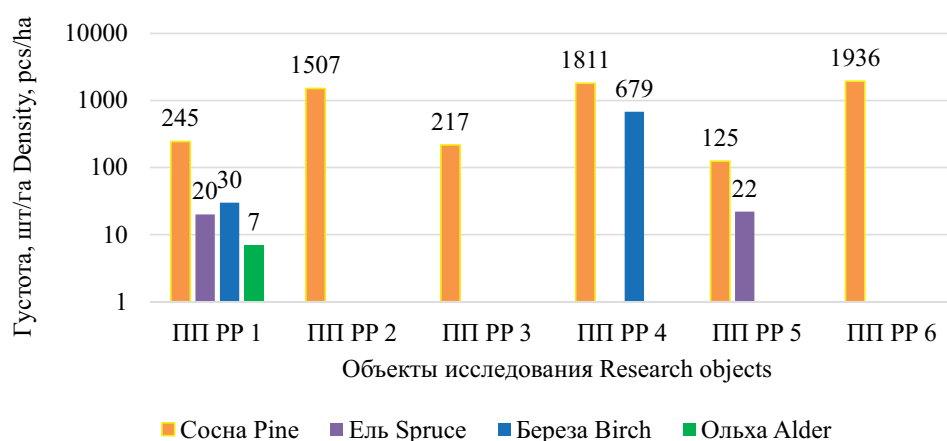


Рис. 1. Густота естественного возобновления на объектах исследования
Fig. 1. Density of natural regeneration at the research objects

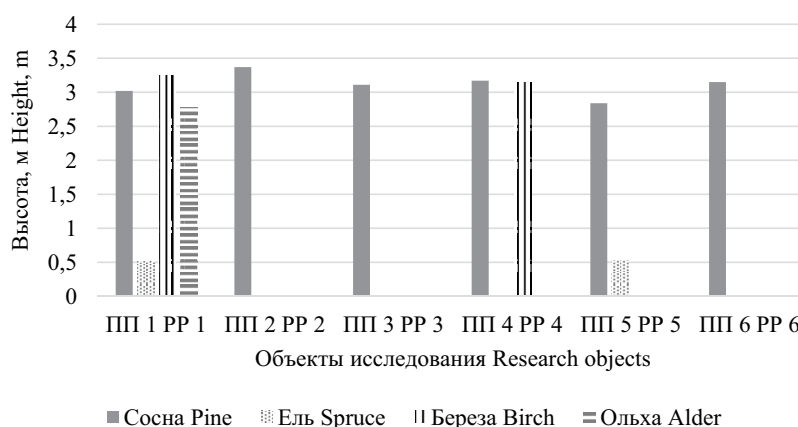


Рис. 2. Высотная структура подроста на исследуемых объектах
Fig. 2. The height structure of the undergrowth on the researched objects

Важно отметить, что на всех исследуемых участках доля сопутствующих сосне обыкновенной других древесных пород в структуре естественного возобновления незначительна, а их суммарный удельный вес не превышает 11 % (табл. 3).

Детальный анализ полученных в ходе исследования данных позволяет сделать вывод, что средняя густота подроста главной породы (сосны) на всех пробных площадях варьирует от 125 до 1936 шт./га. Наибольшая густота естественного

возобновления сосны представлена на участке № 6 – 1936 экз./га. Минимальное количество подроста нами выявлено на участке № 5 – сосна и ель в количестве 147 экз./га. Согласно правилам лесовосстановления (2021), для Балтийско-Белозерского таежного района для перевода в покрытую лесом площадь необходимая густота соснового подроста должна составлять 1,6 тыс. шт./га. По данным табл. 3 видно, что только два участка соответствуют требованиям (№ 4 и № 6).

Таблица 3

Table 3

Характеристика естественного возобновления на участках
Characteristics of Natural Renewal at sections

Порода Wood species	Высота, см height, cm	Диаметр у шейки корня, см Diameter at the root collar, cm	Густота в переводе на крупный, шт./га Density in terms of large, pcs/ha	Формула состава Composition formula
Участок 1 Section 1				
Сосна Pine	302,0±12,0	8,0±0,2	245	8С
Ель Spruce	51,0±2,5	1,0±0,3	20	1Е
Береза Birch	324,0±13,0	7,0±0,2	30	1Б
Ольха Alder	277,0±11,0	5,0±0,2	7	Ед.Ос
Участок 2 Section 2				
Сосна Pine	337,0±13,5	6,0±0,2	1507	10С
Участок 3 Section 3				
Сосна Pine	311,0±12,5	8,0±0,2	217	10С
Участок 4 Section 4				
Сосна Pine	317,0±12,6	6,0±0,2	1811	7С
Береза Birch	314,0±12,5	6,0±0,2	679	3Б
Участок 5 Section 5				
Сосна Pine	284,0±11,3	7,0±0,2	125	8С
Ель Spruce	53,0±2,5	2,0±0,1	22	2Е
Участок 6 Section 6				
Сосна Pine	315,0±12,6	6,0±0,2	1936	10С

Основными представителями живого напочвенного покрова на опытных объектах являются: пырей ползучий (*Elytrigia répens* L.) (60 %), осока волосистая (*Carex pilosa* L.) (68 %), иван-чай узколистный (*Chamaenérion angustifolium* L.) (50 %), василек синий (*Centaurea cyánu*s L.) (27 %).

В процессе проведения научных изысканий нами изучены почвенные условия. Исследования показали, что в результате сельхозпользования происходит уплотнение почвы, снижается ее воздухопроницаемость и водопроницаемость. Кроме того, происходит значительное изменение в химическом составе почвы, в составе и численности микрофлоры и в интенсивности микробиологических процессов (Мандрыкин, 2019). На бывших сельскохозяйственных угодьях сформировались подзолистые и дерново-подзолистые почвы легкого механического состава. Сравнительная характеристика почвенных образцов показала, что по-

чвы на землях сельскохозяйственного назначения характеризуются более высоким содержанием таких важных макроэлементов, как фосфор и калий, в сравнении с лесными почвами, по фосфору на 36 %, по калию на 6 % больше, чем в лесных насаждениях (табл. 4).

Изучая данные сравнительного анализа образцов почвы, взятых из лесного насаждения и с участков бывших сельскохозяйственных угодий, можно отметить, что, несмотря на проблемы с кислотностью, почвы на полях являются более пригодными для лесовыращивания благодаря высокому содержанию гумуса. Уровень калия и фосфора в изученных образцах является приемлемым для нормального роста и развития растений (Гичан, Тебеньков, 2023). После известкования эта территория станет пригодной для активного сельского хозяйства или полноценного восстановления лесов.

Таблица 4
Table 4

Химический анализ исследуемых объектов
Chemical analysis of the researched objects

Объект исследования Object of study	Глубина взятия образца, см Sampling depth, cm	pH	Фосфор, мг/кг Phosphorus, mg/kg	Калий, мг/кг Potassium, mg/kg	Гумус, % Humus, %
Образец, взятый из сосняка кисличного A sample taken from a oxalis pine forest	5–10	5,3	242	22	0,15
	10–20	5,6	206	15	0,31
	30–40	6,1	213	45	0,92
Образец, взятый с сельскохозяйственного поля A sample taken from an agricultural field	5–20	4,3	150	60	1,91
	20–40	5,5	163	13	0,31

Выводы

1. Для Вологодской области характерны процессы зарастания исключенных из сельскохозяйственного оборота земель древесно-кустарниковой растительностью.

2. Анализ зарастания шести участков показал доминирование в составе формирующихся молодняков сосны обыкновенной.

3. Плодородие исключенных из сельскохозяйственного оборота земель превышает таковое под пологом близлежащих насаждений.

4. Зарастание сельскохозяйственных угодий происходит неравномерно на разном расстоянии

от стен леса, что вызывает необходимость продолжения исследований и планирования частичных лесных культур или мер содействия естественному возобновлению.

5. Реализация федерального проекта по эффективному использованию сельскохозяйственных земель на территории Вологодской области вызывает необходимость установления целесообразности расчистки уже заросших древесной растительностью земель с учетом потенциального плодородия почвы.

Список источников

- Архипов Е. В., Залесов С. В. Динамика лесных пожаров в Республике Казахстан и их экологические последствия // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4 (158). С. 10–15.
- Гичан Д. В., Тебеньков Д. Н. Заращение земель сельскохозяйственного назначения древесной растительностью: масштабы, причины, пути использования // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6, № 3. С. 24–75.
- Густота и надземная фитомасса подроста сосны на бывших сельскохозяйственных угодьях / Е. В. Юровских, С. В. Залесов, А. Г. Магасумова, А. В. Бачурина // Аграрный вестник Урала. 2016. № 11 (153). С. 80–85.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2023. 146 с.
- Жижин С. М., Залесов С. В. Перспективы использования бывших сельскохозяйственных угодий в Удмуртской Республике. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. 182 с.
- Жижин С. М., Магасумова А. Г. Заращение сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью в зоне хвойно-широколиственных лесов Республики Удмуртия // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 2 (104). С. 149–154.
- Залесов С. В., Магасумова А. Г., Юровских Е. В. Заращение бывших сельскохозяйственных угодий в Слободо-Туринском районе Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2009. № 4 (34). С. 14–23.
- Залесов С. В., Магасумова Л. Г., Новоселова Н. А. Организация противопожарного устройства насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 4 (66). С. 60–63.
- Залесов С. В., Новоселова Н. Н., Абрамова Л. П. Формирование насаждений на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного использования, в условиях средней подзоны тайги Пермской области // Леса Урала и хозяйство в них. 2004. № 25. С. 30–41.
- Катаев Д. А. В Вологодской области выросла площадь земель, введенных в сельхозоборот. Вологда, 2025 // РБК : [сайт]. URL: <https://vo.rbc.ru/vo/29/12/2025/69526d999a7947cd1938e8db> (дата обращения: 10.02.2026).
- Крекнунов А. А., Залесов С. В. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. Екатеринбург : Урал. ин-т ГПС МЧС России, 2017. 162 с.
- Мандрыкин С. С. Особенности возобновительных процессов древесных пород на постагrogenных землях : дис. ... канд. с.-х. наук / Мандрыкин Сергей Сергеевич. СПб., 2019. 151 с.
- Новоселова Н. Н., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 106 с.
- Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29.12.2021 № 1024 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации : [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения: 10.02.2026).
- Основы фитомониторинга / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
- Передовые практики введения залежных земель в оборот / И. Г. Голубев, Н. П. Мишууров, В. В. Голубев [и др.]. М. : Росинформагротех, 2021. 80 с.
- Рост лиственных древостоев на бывших пашнях / С. В. Залесов, Е. В. Юровских, Л. А. Белов [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2015. № 5 (135). С. 50–54.

Формирование кедровников рубками ухода на бывших сельскохозяйственных угодьях / С. В. Залесов, Л. А. Белов, А. С. Оплетаев [и др.] // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 1. С. 9–10. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-9-19

References

- Arkhipov E. V., Zalesov S. V.* Dynamics of forest fires in the Republic of Kazakhstan and their environmental consequences // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017. № 4 (158). P. 10–15. (In Russ.)
- Best practices for bringing fallow lands into cultivation / I. G. Golubev, N. P. Mishurov, V. V. Golubev [et al.]. Moscow : Rosinformagrotech, 2021. 80 p.
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S.* Forest Environmental Monitoring. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2023. 146 p.
- Density and aboveground phytomass of pine undergrowth on former agricultural lands / E. V. Yurovskikh, S. V. Zalesov, A. G. Magasumova, A. V. Bachurina // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016. № 11 (153). P. 80–85. (In Russ.)
- Formation of cedar forests by thinning on former agricultural lands / S. V. Zalesov, L. A. Belov, A. S. Opletaev [et al.] // *News of universities. Forestry journal*. 2021. № 1. P. 9–10. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-9-19 (In Russ.)
- Fundamentals of phytomonitoring / N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, E. S. Zalesova [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 90 p.
- Gichan D. V., Tebenkov D. N.* Overgrowing of agricultural lands with woody vegetation: scale, causes, and ways of use // *Issues of forest science*. 2023. Vol. 6, № 3. P. 24–75. (In Russ.)
- Growth of larch stands on former arable lands / S. V. Zalesov, E. V. Yurovskikh, L. A. Belov [et al.] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015. № 5 (135). P. 50–54. (In Russ.)
- Kataev D. A.* The Area of Land Put into Agricultural Circulation in the Vologda Oblast Has Increased. Vologda, 2025 // RBC : [website]. URL: <https://vo.rbc.ru/vo/29/12/2025/69526d999a7947cd1938e8db> (accessed 10.02.2026).
- Krektunov A. A., Zalesov S. V.* Protecting Settlements from Wildfires. Yekaterinburg : Ural Institute of the SFS, EMERCOM of Russia, 2017. 162 p.
- Mandrykin S. S.* Characteristics of Renewal Processes of Tree Species on Post-Agrogenic Lands : Diss. ... Cand. of Agricultural Sciences / *Mandrykin Sergey Sergeevich*. St. Petersburg, 2019. 151 p.
- Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G.* Formation of woody vegetation on former agricultural lands. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 106 p.
- On approval of the Reforestation Rules, the form, composition, and approval procedure for a reforestation project, the grounds for refusing to approve it, as well as the requirements for the electronic format of a reforestation project : Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated December 29, 2021 № 1024 // *Electronic Fund of Legal and Regulatory Technical information* : [website]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 10.02.2026).
- Zalesov S. V., Magasumova A. G., Yurovskikh E. V.* Overgrowing of former agricultural lands in the Slobodoturinsky district of the Sverdlovsk region // *Forests of Russia and economy in them*. 2009. № 4 (34). P. 14–23. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Magasumova L. G., Novoselova N. A.* Organization of fire protection devices for plantations forming on former agricultural lands // *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2010. № 4 (66). P. 60–63. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Novoselova N. N., Abramova L. P.* Formation of plantations on lands transferred from agricultural use in the conditions of the middle taiga subzone of the Perm region // *Forests of the Urals and economy in them*. 2004. № 25. P. 30–41. (In Russ.)

Zhizhin S. M., Magasumova A. G. Overgrowth of Agricultural Lands with Trees and Shrubs in the Coniferous-Broadleaf Forest Zone of the Udmurtia Republic // International Research Journal. 2021. № 2 (104). P. 149–154. (In Russ.)

Zhizhin S. M., Zalesov S. V. Prospects for the Use of Former Agricultural Lands in the Udmurt Republic. Yekaterinburg : USFEU, 2025. 182 p.

Информация об авторах

Л. В. Зарубина – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Ю. А. Платонова – аспирант;

В. А. Зайцева – аспирант.

Information about the authors

L. V. Zarubina – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

Yu. A. Platonova – postgraduate student;

V. A. Zaitseva – postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 12.03.2026; принята к публикации 04.04.2026.

The article was submitted 12.03.2026; accepted for publication 04.04.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 108–117.

Forest of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 108–117.

Научная статья

УДК 630.2:631.6

DOI: 10.51318/FRET.2026.97.2.011

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ЗАБРОШЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ

С. М. Жижин¹, А. Г. Магасумова², А. С. Оплетаев³, Н. М. Чынгоев⁴,
Н. Б. Кубатбеков⁵, С. В. Залесов⁶

^{1–3, 5, 6} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

⁴ Научно-производственный центр исследования лесов им. П. А. Гана

Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Республика

Автор, отвечающий за переписку: Сергей Вениаминович Залесов,
zalesovsv@m.usfeu.ru

Аннотация. В результате изменения экономической политики из эксплуатации были исключены миллионы гектаров бывших сельскохозяйственных угодий. Данные площади не используются, зарастают травой и кустарниками, что повышает пожарную опасность, создавая реальную угрозу для здоровья и жизни населения. Эффективным направлением решения проблемы является выращивание на бывших сельскохозяйственных угодьях искусственных сосновых и лиственных насаждений. Исследования, выполненные в Средне-Уральском таежном лесном районе, показали, что запас искусственных сосновых насаждений в 140-летнем возрасте достигает 915 м³/га. При этом в древесине депонируется 326,1 т/га углерода, изъятая из углекислого газа, содержащегося в атмосферном воздухе. Искусственные лиственные насаждения, созданные на пашне в 63-летнем возрасте, имеют запас до 618 м³/га и депонируют в древесине до 285,5 т/га углерода, изъятая в процессе фотосинтеза из атмосферного воздуха. Таким образом, создание искусственных насаждений сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева в Средне-Уральском таежном лесном районе является эффективным направлением, обеспечивающим промышленность высококачественной древесиной и решающим задачи углеродной нейтральности. О масштабах возможного эффекта можно судить, если учесть, что из активного сельскохозяйственного использования в настоящее время исключено 76 млн га бывших сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: заброшенные сельскохозяйственные угодья, лесоразведение, производительность, депонирование углерода

Для цитирования: Эффективность выращивания древесины на заброшенных сельскохозяйственных угодьях / С. М. Жижин, А. Г. Магасумова, А. С. Оплетаев [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 108–117.

Original article

EFFICIENCY OF WOOD GROWING ON ABANDONED AGRICULTURAL LAND

Sergey M. Zhizhin¹, Alfiya G. Magasumova², Anton S. Opletaev³,
Nurstan M. Chyngozhoev⁴, Nursultan B. Kubatbekov⁵, Sergey V. Zalesov⁶

^{1–3, 5, 6} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

⁴ P. A. Gan Scientific and Production Center of Forestry of the National Academy of Sciences
of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

Corresponding author: Sergey V. Zalesov,
zalesovsv@m.usfeu.ru

Abstract. As a result of changes in economic policy, millions of hectares of former agricultural land have been removed from use. These areas no longer produce products and are overgrown with grass and shrubs, increasing the fire hazard and posing a real threat to public health and safety. An effective solution to this problem is to grow artificial pine and larch plantations on former agricultural land. Research conducted in the Middle Ural taiga forest region has shown that the storage capacity of 140-year-old artificial pine plantations reaches 915 m³/ha. Furthermore, the wood carbon sequestration is 326,1 t/ha, extracted from atmospheric carbon dioxide. Artificial larch plantations established on 63-year-old arable land have a carbon reserve of up to 618 m³/ha and sequester 285,5 t/ha of carbon, extracted from the atmosphere through photosynthesis in the wood. Thus, the establishment of artificial plantations of Scots pine and Sukachev larch in the Middle Ural taiga forest region is an effective approach, providing the industry with high-quality wood and addressing carbon neutrality issues. The scale of the potential impact can be judged by considering that 76 million hectares of former agricultural land are currently excluded from active agricultural use.

Keywords: abandoned agricultural land, reforestation, productivity, carbon sequestration

For citation: Efficiency of wood growing on abandoned agricultural land / S. M. Zhizhin, A. G. Magasumova, A. S. Opletaev [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 108–117.

Введение

Переход экономики Российской Федерации на рыночные отношения привел к ряду негативных последствий. В частности, к банкротству колхозов и совхозов и оттоку сельского населения в города. Как следствие этого, произошло исключение из активного использования миллионов гектаров сельскохозяйственных угодий. Так, по ряду литературных и ведомственных материалов (Агроэкологическое состояние..., 2008; Создание..., 2014) суммарная площадь заброшенных, точнее, неиспользуемых сельскохозяйственных земель к настоящему времени превысила 76 млн га, а согласно прогнозам (Родина, Закалюжная, 2023; Ярошенко, 2026) к 2030 г. данная площадь увеличится до 100 млн га.

Особо следует отметить, что сокращение площади сельскохозяйственных угодий произошло в абсолютном большинстве субъектов Российской Федерации, и в настоящее время либо они уже заросли древесно-кустарниковой растительностью, либо указанный процесс активно продолжается (Новоселова и др., 2016; Гульбе и др., 2017; Жижин и др., 2021а,б; Жижин, Залесов, 2022). При этом не следует забывать, что данные земли не продуцируют какую-либо товарную продукцию, а напротив, создают реальную угрозу для жизни и здоровья населения, резко повышая пожарную опасность (Залесов и др., 2010а; Залесов и др., 2013; Кректунов, Залесов, 2017).

Большинство заброшенных сельскохозяйственных угодий исключены из использования по прямому назначению в связи с низкой потенциальной продуктивностью почв и отсутствием у лесопользователя возможности внесения органических или минеральных удобрений (Жижин и др., 2022). При этом следует учитывать, что низкое потенциальное плодородие почв для сельскохозяйственных культур не является таковым для древесных видов, в частности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) (Пост..., 2015). Неслучайно уже несколько лет ведутся работы по формированию желательной древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях (Залесов и др., 2010б; Zalesov et. al., 2019; Формирование..., 2021; Повышение..., 2022). Кроме того, С. М. Жижин и С. В. Залесовым (2025) была предпринята попытка классификации бывших сельскохозяйственных угодий по потенциальной продуктивности почв. За критерий были взяты показатели плодородия почв, при которых мог быть получен средний урожай зерновых культур для анализируемого района. Если потенциальное плодородие почв не позволяет выращивать средний урожай, а землепользователь не имеет экономических возможностей для внесения органических или минеральных удобрений, а также известкования кислых почв, то данные сельскохозяйственные земли передаются под лесовыращивание (Жижин, Залесов, 2025).

Цель, методика и объекты исследований

Целью исследований является анализ эффективности выращивания древесных насаждений на бывших сельскохозяйственных угодьях и разработка на этой основе предложений по совершенствованию их использования.

В качестве объектов исследований были использованы насаждения искусственного и естественного происхождения, формирующиеся на бывших сельскохозяйственных угодьях в Средне-Уральском таежном лесном районе.

В основу исследований положен метод пробных площадей (ПП), которые закладывались

в соответствии с апробированными методиками (Данчева и др., 2023).

Помимо основных таксационных показателей, в ходе исследований был рассчитан объем задепонированного в процессе фотосинтеза углерода в тканях древесных растений, произрастающих на бывших сельскохозяйственных угодьях. Определение задепонированного углерода рассчитывалось в соответствии с утвержденными методиками (Об утверждении методик..., 2022; Гибадуллин и др., 2025).

Результаты и их обсуждение

Основной древесной породой для лесовосстановления и лесоразведения на Урале является сосна обыкновенная. Последнее объясняется низкой требовательностью данной породы к потенциальному плодородию почв, что позволяет выращивать искусственные и естественные высокопроизводительные сосновые насаждения даже на рекультивируемых землях (Создание карбоновых ферм..., 2025).

Примером эффективного выращивания сосновых насаждений могут служить данные двух ПП, заложенных в искусственных сосновых насаждениях на бывшей пашне (табл. 1).

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что в 140-летнем возрасте сосновые насаждения, созданные на пашне, характеризуются I классом бонитета и имеют запас 908–915 м³/га. Другими словами, запас указанных насаждений практически в два раза превышает таковой в естественных и искусственных насаждениях, выращиваемых на вырубках (Залесов и др., 2002). Последнее, на наш взгляд, объясняется более высоким потенциальным плодородием почвы и выращиванием в загущенном состоянии. Так, относительная полнота древостоев на момент обследования составляет 1,6–1,7, что абсолютно не типично для естественных насаждений аналогичного возраста, которые обычно пройдены несколькими приемами рубок ухода.

Интегральным показателем экологической роли насаждения является прирост запаса древесины. Именно прирост свидетельствует об интенсивности фотосинтеза, выделении кислорода

и депонировании углерода в органах растений, изымаемого из углекислого газа, находящегося в атмосфере. Поскольку углекислый газ входит в число парниковых газов, можно говорить, что от величины прироста в значительной степени зависит климаторегулирующая роль лесных насаждений.

Выполненные нами исследования показали, что 140-летние сосновые насаждения, созданные на пашне, характеризуются средним приростом древесины от 6,5 до 6,6 м³/га. При этом в своей древесине на неопределенно длительный срок они задепонировали от 323,5 до 326,1 т/га углерода из атмосферного воздуха. При условии заготовки древесины из нее можно создать изделия, в которых задепонированный в древесине углерод не поступит в атмосферу многие десятки и даже сотни лет.

В научной литературе имеются многочисленные публикации о том, что искусственные наса-

ждения обладают худшими возможностями к естественному возобновлению. Однако сделанный вывод основывается на количестве подроста под пологом искусственных и естественных насаждений, что не совсем корректно, поскольку сравниваются насаждения с различной полнотой древостоев. Из-за высокого светолюбия подрост сосны просто не накапливается под пологом высокополнотных искусственных насаждений. В естественных более низкополнотных насаждениях подрост дольше сохраняет жизнеспособность под пологом материнского древостоя.

В непосредственной близости от пробных площадей 1 и 2 на прилегающей пашне сформировались сосновые насаждения естественного происхождения, произрастающие по II классу бонитета. ПП-3 заложена в 15 м от стены леса, а ПП-4 – в 45 м. Исследования показали, что зарастание сельскохозяйственных угодий идет от стены леса (табл. 2).

Таблица 1
Table 1

Основные таксационные показатели ПП, заложенных в искусственных сосновых насаждениях, созданных на бывших пашнях в Средне-Уральском таежном лесном районе
The main taxation indicators of SP laid in artificial pine plantations created on former arable land in the Middle Ural taiga forest area

№ ПП No SP	Состав Tree species composition	Средние Average			Полнота Completeness		Густота, шт./га Density, pcs/ha	Запас, м³/га Reserve, m³/ha	Масса углерода, т/га Carbon mass, t/ha
		возраст, лет age, years	высота, м height, m	диаметр, см diameter, cm	абсолютная, м²/га absolute, m²/ha	относительная relative			
1	9,6С 9,6Р	140	32,1	40,6	64,7	1,7	500	881	313,6
	0,4Б 0,4В		17,6	13,5	3,6		250	34	12,5
	Итого Total				68,3		750	915	326,1
2	9,8С 9,8Р	140	33,8	39,2	60,2	1,6	500	887	315,8
	0,2Б 0,2В		15,1	12,9	2,5		190	21	7,7
	Итого Total				62,7		690	908	323,5

Примечание. С – сосна; Б – береза.

Note. P – pine; B – birch.

Материалы табл. 2 свидетельствуют, что в 15 м от стены древостоя молодняк сформировался на два года раньше, чем в 45 м от стены леса. При этом на ПП-3 выше все таксационные показатели, что особенно четко проявляется на запасе древостоя.

Древостои на ПП-3 и ПП-4 сформировались из семян 120-летних искусственных сосновых насаждений, поскольку пашня была заброшена 20 лет назад. Выполненные исследования показали, что средний прирост древесины в насаждениях, сформировавшихся в 15 м от стены леса, в 18-летнем возрасте составляет 3,5 м³/га, а в 45 м в 16-летнем возрасте – 1,9 м³/га. При этом объем задепонированного в древесине углерода достигает в первом случае 27,4 т/га, а во втором – 13,1 т/га. Указанное свидетельствует о высокой эффективности выращивания древесины на бывших сельскохозяйственных угодьях. Во-первых, при этом можно получить значительные запасы востребо-

ванной на рынке высококачественной сосновой древесины. Во-вторых, оказывать влияние на климат, сокращая долю углекислого газа в атмосферном воздухе.

Создание искусственных насаждений на бывших пашнях, сенокосах и пастбищах позволит решить проблему углеродной нейтральности и реализовать климатические проекты. При этом следует отметить, что создание искусственных насаждений на бывших сельскохозяйственных угодьях дает значительно больший эффект, поскольку углерод из атмосферного воздуха, помимо древостоя, будет депонироваться в других компонентных насаждениях, в частности в почве, лесной подстилке, живом напочвенном покрове, подросте и подлеске.

Помимо сосны обыкновенной, высокую производительность показывают созданные на бывших пашнях насаждения лиственницы Сукачева (табл. 3).

Таблица 2
Table 2

Основные таксационные показатели естественных сосновых насаждений,
сформировавшихся на бывшей пашне
The main taxation indicators of natural pine plantations formed
on the former arable land

№ ПП No SP	Состав Tree species composition	Средние Average			Полнота Completeness		Густота, шт./га Density, pcs/ha	Запас, м ³ /га Reserve, m ³ /ha	Масса углерода, т/га Carbon mass, t/ha
		возраст, лет age, years	высота, м height, m	диаметр, см diameter, cm	абсолютная, м ² /га absolute, m ² /ha	относительная relative			
3	9,8С 9,8Р	18	4,4	6,4	23,66	1,16	7327	62	27,0
	0,2Б 0,2В	18	3,0	3,2	0,69		818	1	0,4
	Итого Total				24,35		8145	63	27,4
4	10С 10Р	16	4,1	5,1	12,33	0,71	5942	30	13,1
	едБ sB	16	3,8	4,7	0,13		75	–	–
	Итого Total				12,46		6017	30	13,1

Примечание. С – сосна; Б – береза.

Note. P – pine; B – birch; s – single.

Как следует из данных табл. 3, при биологическом возрасте 63 года запас искусственных лиственничных насаждений варьируется от 377 до 618 м³/га. При этом с повышением густоты древостоя запас увеличивается. Аналогичная закономерность характерна и для полноты древостоя. Так, при густоте древостоя 1272 шт./га его запас составляет 618 м³/га при полноте 53,8 м²/га. Снижение густоты до 800 шт./га приводит к снижению запаса до 377 м³/га и полноты до 32,9 м²/га.

Средний прирост древесины в искусственных лиственничниках, созданных на бывших пашнях за 63-летний период, варьируется от 6,0 до 9,8 м³/га в год. При этом к 63-летнему возрасту указанные древостои накапливают в своей древесине от 174,2 до 285,5 т/га углерода, извлеченного в процессе фотосинтеза из атмосферного воздуха. Другими словами, указанные лиственничники ежегодно депонируют в среднем от 2,77 до 4,53 т/га углерода. Если учесть, что площадь исключенных из сельскохозяйственного оборота земель

в Российской Федерации превышает в настоящее время 76 млн га, то становится понятной роль искусственных лиственничных или сосновых насаждений при их создании на указанных землях в решении задачи нашей страны в достижении углеродной нейтральности и реализации климатических проектов, направленных на снижение в атмосферном воздухе парниковых газов.

При этом в отличие от травяных фитоценозов искусственные лиственничные и сосновые насаждения будут консервировать углерод в своей древесине не только в период их выращивания, но и в период использования продукции из выращенной древесины.

Выбор сосны или лиственницы Сукачева при лесовыращивании будет зависеть от потенциального плодородия почвы. При этом особенно эффективно создание лиственничных древостоев на вышедших из эксплуатации бывших сельскохозяйственных угодьях.

Таблица 3
Table 3

Основные таксационные показатели насаждений лиственницы Сукачева, созданные посадкой на бывшей пашне в Средне-Уральском таежном лесном районе
The main taxation indicators of Sukachev larch plantations created by planting on former arable land in the Middle Ural Taiga forest area

№ ПП No SP	Состав Tree species composition	Средние Average			Полнота Completeness		Густота, шт./га Density, pcs/ha	Запас, м ³ /га Reserve, m ³ /ha	Масса углерода, т/га Carbon mass, t/ha
		возраст, лет age, years	высота, м height, m	диаметр, см diameter, cm	абсолютная, м ² /га absolute, m ² /ha	относительная relative			
1	10Лц 10Lar.	63	28,0	23,2	53,8	1,16	1272	618	
2	10Лц 10Lar.	63	27,2	25,4	45,9	1,01	908	531	
3	10ЛцедБ 10Lar. sB	63	26,5	23,2	45,8	1,01	1087	526	
4	10Лц+Б 10Lar.+B	63	27,5	22,9	32,9	0,73	800	377	
5	10Лц 10Lar.	63	26,9	22,8	40,7	0,90	1000	466	

Примечание. Лц – лиственница; Б – береза.

Note. Lar. – larch; B – birch; s – single.

Учитывая наличие мелкой хвой лиственницы, которая создает плотную лесную подстилку, а также хорошую очищенность стволов от сучьев можно ожидать резкое снижение потенциальной пожарной опасности после смыкания лесных культур. В пользу создания лесных культур из лиственницы Сукачева свидетельствует и тот факт, что последние не повреждаются дикими копытными животными. Указанный факт свидетельствует о лучшей по сравнению с сосной приживаемости и сохранности лесных культур.

Выводы

1. По прогнозным оценкам к 2030 г. из активного использования будет исключено около 100 млн га бывших сельскохозяйственных угодий.
2. Указанные площади не дают продукции, а из-за зарастания древесно-кустарниковой и травянистой растительностью повышают пожарную

опасность и создают угрозу здоровью и жизни населения.

3. При невозможности вернуть бывшие сельскохозяйственные угодья в исходное состояние, т.е. использование по прямому назначению, целесообразно создавать на них искусственные насаждения.

4. Для создания искусственных насаждений на бывших сельскохозяйственных угодьях в Средне-Уральском таежном лесном районе целесообразно использовать сосну обыкновенную и лиственницу Сукачева.

5. Выращивание указанных насаждений позволит не только получить значительные запасы высококачественной древесины, но и решит задачу углеродной нейтральности.

6. Формирующиеся на бывших сельскохозяйственных угодьях искусственные насаждения превосходят естественные насаждения аналогичного возраста.

Список источников

- Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, вышедших из активного сельскохозяйственного оборота / под ред. Г. А. Романенко. М. : Росинформагротех, 2008. 64 с.
- Гибадуллин Н. Ф., Бачериков И. В., Залесов С. В. Угледепонирующая функция сосновых молодняков на постоагrogenных землях Республики Татарстан // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 52–59.
- Гульбе Я. И., Гульбе А. Я., Гульбе Т. А. Динамика биологической продуктивности молодняка ольхи серой на залежи // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. Вып. 47. С. 13–16.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 146 с.
- Жижин С. М., Залесов С. В. Низкое плодородие почвы как фактор прекращения сельскохозяйственного использования // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 7 (121). Ч. 2. С. 163–166.
- Жижин С. М., Залесов С. В. Перспективы использования бывших сельскохозяйственных угодий в Удмуртской Республике. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. 182 с.
- Жижин С. М., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Изменение площади сельскохозяйственных угодий в Удмуртской Республике // Лесной вестник. Forestry bulletin. 2022. Т. 26, № 3. С. 47–53.
- Жижин С. М., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Изменение площади сельскохозяйственных угодий по лесным районам в Республике Удмуртия // Успехи современного естествознания. 2021б. № 2. С. 12–18.
- Жижин С. М., Магасумова А. Г., Оплетев А. С. Зарастание древесной растительностью сельскохозяйственных угодий в южной подзоне тайги Республики Удмуртия // Вестник Бурятской сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021а. № 2 (63). С. 84–91.
- Залесов С. В., Годовалов Г. А., Платонов Е. Ю. Уточненная шкала распределения участков лесного фонда по классам природной пожарной опасности // Аграрный вестник Урала. 2013. № 10 (116). С. 45–49.
- Залесов С. В., Лобанов А. Н., Луганский Н. А. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург : УГЛТУ, 2002. 112 с.

- Залесов С. В., Магасумова А. Г., Новоселова Н. Н. Лесоводственные мероприятия на землях, исключенных из хозяйственного использования // Аграрный вестник Урала. 2010а. № 6 (72). С. 68–72.
- Залесов С. В., Магасумова А. Г., Новоселова Н. Н. Организация противопожарного устройства насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010б. № 4 (66). С. 60–63.
- Кректунев А. А., Залесов С. В. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. Екатеринбург : Урал. ин-т ГПС МЧС России, 2017. 162 с.
- Новоселова Н. Н., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 106 с.
- Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.05.2022 г. № 371 // Электронный фонд правовой нормативно-технической информации : [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750?ysclid=m61aqixpym995901443> (дата обращения: 14.05.2026).
- Повышение эффективности использования бывших сельскохозяйственных угодий / С. В. Залесов, С. М. Жижин, А. Г. Магасумова [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 104–116.
- Родина М. Е., Закалюжная Н. В. Выращивание леса на землях сельскохозяйственного назначения в России : законодательные новеллы и их реализация // Правовой порядок и правовые ценности. 2023. Т. 1, № 2. С. 34–46. DOI: 10.23947-1843-2023-1-2-34-46
- Рост лиственных древостоев на бывших пашнях / С. В. Залесов, Е. В. Юровских, Л. А. Белов [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2015. № 5 (135). С. 50–54.
- Создание высокопродуктивных лесонасаждений на землях, вышедших из активного сельскохозяйственного оборота / А. В. Жигунов, Д. А. Данилов, А. Н. Красновидов, О. О. Эндерс // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 3 (31). С. 85–90.
- Создание карбоновых ферм на нарушенных землях / С. В. Залесов, К. А. Башегуров, А. Е. Осипенко [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2025. № 4. С. 68–76. DOI: 10.15372/SJFS20250407
- Формирование кедровников рубками ухода на бывших сельскохозяйственных угодьях / С. В. Залесов, Л. А. Белов, А. С. Оплетев [и др.] // ИВУЗ. Лесной журнал. 2021. № 1. С. 9–19.
- Ярошенко А. Ю. Сельское лесоводство в России: ситуация на начало 2026 года / Ассоциация «Охрана природы» // Лесной форум Гринпис России. 2026. URL: <https://forest.earthtouches/wiki/trost/7ayuuu6ps1-selskoe-lesovodstvo-v-rosii-situatsiya> (дата обращения: 14.05.2026).
- Zalesov S. V., Magasumova A. D., Opletaev A. S. Effectiveness of larch stands creation on former agricultural land // Ecological Agriculture and Sustainable Development ; Research Development Center. 2019. № 1. P. 69–76.

References

- Agroecological Status and Prospects for the Use of Russian Lands Exited from Active Agricultural Circulation / ed. by G. A. Romanenko. Moscow : Rosinformagrotekh, 2008. 64 p.
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S. Forest Environmental Monitoring. Yekaterinburg : USFEU, 2023. 146 p.
- Establishment of highly productive afforestations on lands no longer used for active agriculture / A. V. Zhigunov, D. A. Danilov, A. N. Krasnovidov, O. O. Enders // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2014. № 3 (31). P. 85–90. (In Russ.)
- Establishment of carbon farms on disturbed lands / S. V. Zalesov, K. A. Bashegurov, A. E. Osipenko [et al.] // Siberian Forestry Journal. 2025. № 4. P. 68–76. DOI: 10.15372/SJFS20250407

- Formation of cedar forests by thinning on former agricultural lands / *S. V. Zalesov, L. A. Belov, A. S. Opletaev* [et al.] // News of higher education institution. Forestry Journal. 2021. № 1. P. 9–19. (In Russ.)
- Gibadullin N. F., Bacherikov I. V., Zalesov S. V.* Carbon-depositing function of pine young forests on post-agrogenic lands of the republic of Tatarstan // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 52–59. (In Russ.)
- Growth of larch stands on former arable lands / *S. V. Zalesov, E. V. Yurovskikh, L. A. Belov* [et al.] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. № 5 (135). P. 50–54. (In Russ.)
- Gulbe Ya. I., Gulbe A. Ya., Gulbe T. A.* Biological Productivity Dynamics of Young Gray Alder Forests on Fallow Lands // Current Issues of the Forest Complex. 2017. Issue 47. P. 13–16. (In Russ.)
- Improving the Efficiency of Using Former Agricultural Lands / *S. V. Zalesov, S. M. Zhizhin, A. G. Magasumova* [et al.] // Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. 2022. Issue 239. P. 104–116. (In Russ.)
- Krektunov A. A., Zalesov S. V.* Protection of populated areas from wildfires. Yekaterinburg : Ural Institute of State Service of EMERCOM of Russia, 2017. 162 p.
- Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G.* Formation of woody vegetation on former agricultural lands. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 106 p.
- On approval of methods for quantifying greenhouse gas emissions and greenhouse gas absorption : Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated May 27, 2022. № 371 // Electronic fund of legal and regulatory information : [website]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750?ysclid=m61aqixpym995901443> (accessed 14.05.2026).
- Rodina M. E., Zakalyuzhnaya N. V.* Forest cultivation on agricultural lands in Russia: legislative innovations and their implementation // Legal order and legal values. 2023. Vol. 1, № 2. P. 34–46. DOI: 10.23947-1843-2023-1-2-34-46 (In Russ.)
- Yaroshenko A. Yu.* Rural forestry in Russia: the situation at the beginning of 2026 / Association “Nature Conservation” // Forest Forum Grimpis of Russia. 2026. URL: <https://forest.earthtouches/wiki/trost/7ayyuu6ps1-selskoe-lesovodstvo-v-rosii-situatsiya> (accessed 14.05.2026).
- Zalesov S. V., Godovalov G. A., Platonov E. Yu.* A refined scale for the distribution of forest fund areas by natural fire hazard classes // Agrarian Bulletin of the Urals. 2013. № 10 (116). P. 45–49. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Lobanov A. N., Lugansky N. A.* Growth and productivity of artificial and natural pine forests. Yekaterinburg : USFEU, 2002. 112 p.
- Zalesov S. V., Magasumova A. G., Novoselova N. N.* Silvicultural measures on lands excluded from economic use // Agrarian Bulletin of the Urals. 2010. № 6 (72). P. 68–72. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Magasumova A. G., Novoselova N. N.* Organization of fire protection devices for plantings forming on former agricultural lands // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2010. № 4 (66). P. 60–63. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Magasumova A. D., Opletaev A. S.* Effectiveness of larch stands creation on former agricultural land // Ecological Agriculture and Sustainable Development: Research Development Center. 2019. № 1. P. 69–76. (In Russ.)
- Zhizhin S. M., Zalesov S. V.* Low Soil Fertility as a Factor in the Cessation of Agricultural Use // International Research Journal. 2022. № 7 (121). Part 2. P. 163–166. (In Russ.)
- Zhizhin S. M., Zalesov S. V.* Prospects for the Use of Former Agricultural Lands in the Udmurt Republic. Yekaterinburg : USFEU, 2025. 182 p.
- Zhizhin S. M., Zalesov S. V., Magasumova A. G.* Change in the Area of Agricultural Lands in the Udmurt Republic // Forestry Bulletin. 2022. Vol. 26, № 3. P. 47–53. (In Russ.)
- Zhizhin S. M., Zalesov S. V., Magasumova A. G.* Changes in the area of agricultural land in forested areas in the Udmurtia Republic // Advances in modern natural science. 2021b. № 2. P. 12–18. (In Russ.)

Zhizhin S. M., Magasumova A. G., Opletaev A. S. Overgrowing of agricultural lands with woody vegetation in the southern taiga subzone of the Udmurtia Republic // Bulletin of the Buryat Agricultural Academy named after V. R. Filippov. 2021. № 2 (63). P. 84–91. (In Russ.)

Информация об авторах

Сергей Михайлович Жижин – кандидат сельскохозяйственных наук;

zhizhinsergey@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-4618-9172>

Альфия Гантрауфовна Магасумова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

magasumovaag@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1272-2008>

Антон Сергеевич Оплетаев – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

opletaevas@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2602-6527>

Нурстан Мадылканович Чынгожоев – кандидат биологических наук;

nurstan75@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5681-9768>

Нурсултан Бакытбекович Кубатбеков – аспирант;

n.kubatbekov92@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3263-4833>

Сергей Вениаминович Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

Information about the authors

Sergey M. Zhizhin – Candidate of Agricultural Sciences;

zhizhinsergey@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-4618-9172>

Alfiya G. Magasumova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

magasumovaag@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1272-2008>

Anton S. Opletaev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

opletaevas@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2602-6527>

Nurstan M. Chyngozhoyev – Candidate of Biological Sciences;

nurstan75@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0004-5681-9768>

Nursultan B. Kubatbekov – postgraduate student;

n.kubatbekov92@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3263-4833>

Sergey V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410X>

Статья поступила в редакцию 01.06.2026; принята к публикации 16.07.2026.

The article was submitted 01.06.2026; accepted for publication 16.07.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 118–134.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). С. 118–134.

Научная статья

УДК 630*52:630*174.754

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.012

НАДЗЕМНАЯ БИОМАССА И ЕЕ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОСНОВНОГО И НИЖНЕГО ЯРУСОВ ЛЕСОБОЛОТНОЙ СИСТЕМЫ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

И. В. Петрова¹, Н. И. Плюха², В. А. Усольцев³, В. А. Лебедев⁴,
Н. С. Иванова⁵, А. Д. Демин⁶, А. А. Зорина⁷

^{1, 2, 4–7} Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

^{2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Андреевич Усольцев,
Usoltsev50@mail.ru

Аннотация. Лесоболотные системы характеризуются широким разнообразием их экологии и структуры, связанным, в частности, с характером гидрологического режима. Оценка биомассы отдельных ярусов лесоболотных систем позволяет глубже понять экологию взаимосвязей нижнего и древесного ярусов в локальных условиях водообеспеченности и трофности торфяной залежи. Однако для лесоболотных систем Урала данные о биомассе деревьев основного и нижнего ярусов отсутствуют. Цель настоящего исследования состояла в оценке биомассы деревьев основного яруса и растений подлеска и подроста в лесоболотной системе, примыкающей к Исетскому озеру. В результате впервые для лесоболотных систем Среднего Урала получены фактические данные о биомассе основного яруса в количестве 18 и 12 деревьев соответственно березы (*Betula pendula* Roth) и сосны (*Pinus sylvestris* L.), а также 48 растений кустарничкового яруса пяти видов и 31 растения подроста трех пород. Получены статистически значимые аллометрические модели надземной биомассы деревьев по полному фракционному составу в связи с диаметром на высоте груди, сопоставление которых с данными по лесоболотным системам Березинского заповедника в Белоруссии показало, что по всем фракциям биомасса равновеликих деревьев березы и сосны в Белоруссии существенно меньше, чем на Урале. Для подлеска и подроста получены статистически значимые аллометрические зависимости надземной и ассимиляционной биомассы от высоты растения. Сравнение их с соответствующими показателями суходолов показало, что структура биомассы как подлеска в целом, так и подроста разных пород существенно различается между суходолом и лесоболотной системой. Полученные аллометрические модели биомассы деревьев основного яруса и растений подлеска и подроста дают возможность оперативной оценки названных показателей на единице площади лесоболотных систем Среднего Урала.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, береза повислая, лесоболотные системы, надземная биомасса фракций, основной ярус, подлесок, подрост

Финансирование: публикация подготовлена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

Благодарности: авторы благодарят Т. Г. Антипину, О. Н. Ковшар и Н. Ю. Груданова за активное участие в получении экспериментальных данных на пробных площадях и в камеральных условиях.

Для цитирования: Надземная биомасса и ее аллометрические модели для основного и нижнего ярусов лесоболотной системы на Среднем Урале / И. В. Петрова, Н. И. Плюха, В. А. Усольцев [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 118–134.

Original article

ABOVEGROUND BIOMASS AND ITS ALLOMETRIC MODELS FOR THE MAIN AND UNDER STOREYS OF THE FOREST-SWAMP SYSTEM IN THE MIDDLE URALS

Irina V. Petrova¹, Nikolay I. Plukha², Vladimir A. Usoltsev³, Vladimir A. Lebedev⁴,
Natalya S. Ivanova⁵, Andrey D. Demin⁶, Alesya A. Zorina⁷

^{1, 2, 4–7} Botanical Garden, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

^{2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Vladimir A. Usoltsev,

Usoltsev50@mail.ru

Abstract. Forest-swamp systems are characterized by a wide variety of their ecology and structure, related, in particular, to the characteristics of the hydrological regime. The assessment of the biomass of individual storeys of forest-swamp systems allows for a deeper understanding of the ecology of the interrelationships of the under and woody storeys in the local conditions of water availability and trophicity of peat deposits. However, there are no data on the tree biomass of the main and under storeys for the forest-swamp systems of the Urals. The purpose of this research was to evaluate the biomass of trees of the main storey and plants of the undergrowth and young growth in the forest-swamp system adjacent to Lake Isetskoe. As a result, for the first time for the forest-swamp systems of the Middle Urals, actual data were obtained on the biomass of the main storey in the amount of 18 and 12 birch (*Betula pendula* Roth) and pine (*Pinus sylvestris* L.) trees, respectively, as well as 48 shrubby storey of 5 species and 31 plants of the young growth of three species. Statistically significant allometric models of the aboveground biomass of trees of their total fractional composition due to the diameter at breast height were obtained, a comparison of which with data on the forest-swamp systems of the Berezinsky Reserve in Belarus showed that for all fractions, the biomass of birch and pine trees of equal size in Belarus is significantly less than in the Urals. Statistically significant allometric dependences of aboveground and assimilative biomass on plant height were obtained for undergrowth and young growth storeys. Comparing them with the corresponding indicators for dry valleys revealed that the biomass structure of both the undergrowth as a whole and the young forest of different species differs significantly between dry valleys and the forest-swamp system. The obtained allometric models of biomass of trees of the main storey and plants of undergrowth and young growth make it possible to quickly assess these indicators per unit area of forest-swamp systems in the Middle Urals.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, forest-swamp systems, aboveground biomass fractions, main storey, undergrowth, young growth

Funding: the publication was prepared as part of the State Assignment of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Acknowledgements: the authors thank T. G. Antipina, O. N. Kovshar and N. Yu. Grudanov for their active participation in obtaining experimental data on sample plots and in office conditions.

For citation: Aboveground biomass and its allometric models for the main and under storeys of the forest-swamp system in the Middle Urals / I. V. Petrova, N. I. Plukha, V. A. Usoltsev [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 118–134.

Введение

В нашей стране изучению экологии болот издавна уделялось большое внимание (Сукачев, 1926; Пьявченко, 1967; Солоневич, 1971; Храмов, Валуцкий, 1977; Боч, Мазинг, 1979; Вомперский, 1994; Карпенко и др., 2012). Лесоболотные системы характеризуются широким разнообразием их экологии и структуры, связанным, в частности, с характером гидрологического режима. Оценка биомассы отдельных ярусов лесоболотных систем позволяет глубже понять экологию взаимосвязей нижнего и древесного ярусов в локальных условиях водообеспеченности и трофности торфяной залежи (Шадрина, 1968; Валетов, 1992). Ряд исследований связан с оценкой биологической продуктивности лесоболотных систем (Базилевич, 1967; Пьявченко, 1967; Шадрина, 1968; Медведева, 1974; Валуцкий, Храмов, 1976; Храмов, Валуцкий, 1977; Валетов и др., 1985; Brække, 1986; Валетов, 1992; Nugroho, 2014; Biomass..., 2019; Sarmiento, Garcia, 2021; Коронатова, Косых, 2022) и безлесных болот (Шадрина, 1968; Валетов, 1992; Титлянова, 2007; Косых и др., 2008; Головацкая, 2009; Spatiotemporal change..., 2021; A study..., 2023; Restoration..., 2025). Структура биомассы лесоболотных систем была исследована в зональных градиентах, однако в целом она изучена намного меньше, чем насаждений на суходолах (Коронатова, Косых, 2022).

На Среднем Урале биомасса нижнего яруса сосновой лесоболотной системы сфагнового типа была дана в сравнении с аналогичным показателем в насаждениях недостаточного и оптимального увлажнения (Ivanova et al., 2021), а более детально биомасса основного и нижнего ярусов исследована в пойменных лесоболотных системах с проточным увлажнением в градиенте уровня грунтовых вод от 4–8 до 40 см (Шадрина, 1968). В упомянутых работах данные о биомассе лесоболотных систем приведены в расчете на единицу площади, и лишь в единичных публикациях даются значения био-

массы на уровне отдельных деревьев в болотных сосняках, черноольшаниках и березняках (Валетов и др., 1985), в том числе в связи с произведением квадрата диаметра на высоту ствола (Валетов, 1992) и в связи с диаметром ствола на высоте груди (Коронатова, Косых, 2022). Для суходолов Урала имеются аллометрические зависимости биомассы деревьев древесного яруса (Усольцев и др., 2022), подроста (Биомасса подроста..., 2023б) и подлеска (Биомасса подлесочных видов..., 2023а). Для лесоболотных систем Урала данные о биомассе деревьев основного и нижнего ярусов отсутствуют. Единственные опубликованные данные о биомассе осушенных болот на Среднем Урале (The state of drained peatlands..., 2025) нельзя считать корректными, поскольку надземная и подземная биомасса древесного яруса болот их авторами определена по опубликованным ранее аллометрическим моделям (Усольцев и др., 2022), полученным по фактическим данным деревьев, взятых на пробных площадях, заложенных на суходолах. Некорректность упомянутых данных обусловлена тем, что морфоструктура деревьев и соответствующая структура их биомассы на болоте и суходоле совершенно разные (Усольцев, 2007).

Цель, задачи, объекты и методика исследования

Цель нашего исследования – изучить биологическую продуктивность лесоболотной системы Среднего Урала. Для осуществления названной цели было необходимо получить фактические данные о биомассе растений древесного и нижнего ярусов и разработать их аллометрические модели. Объект исследования представлен лесоболотной системой, прилегающей к Исетскому озеру, в градиенте увлажнения от низинного к верховому типу (рис. 1). Общая мощность торфяной залежи – около 5,5 м, уровень болотных вод – от 0 до 5 см от поверхности. Рельеф микрокочковатый, высота кочек до 20 см.

Согласно кадастру типов леса Свердловской области, исследуемая территория является частью Зауральской холмистой предгорной провинции в подзоне южной тайги. Это расчлененное предгорье, образованное чередующимися меридиональными возвышенностями с широкими межгорными понижениями с большими озерами, окруженными торфяными болотами. Высота над уровнем моря составляет 250–500 м. Климат умеренно холодный и субгумидный (Колесников и др., 1973). На территории, прилегающей к Исетскому озеру, на разном удалении от кромки воды были заложены четыре пробные площади, таксационная характеристика которых дана в табл. 1.

На каждой пробной площади из древесного яруса было отобрано по шесть модельных деревьев, распределенных равномерно в диапазоне от минимального до максимального размера. Ранее было установлено, что увеличение числа модельных деревьев, взятых по ступеням толщины, на пробной площади сверх 5–10 приводит к повышенным

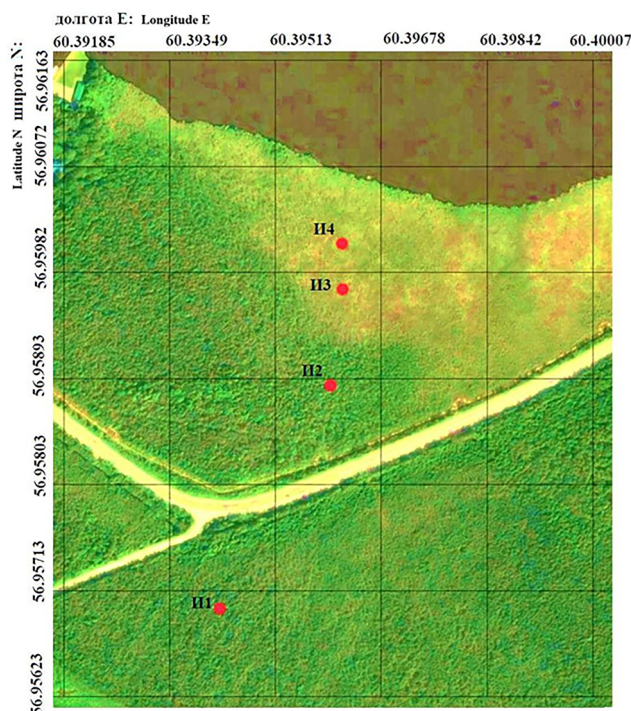


Рис. 1. Расположение пробных площадей на экологическом профиле вблизи Исетского озера
Fig. 1. The location of the sample plots on the ecological profile near Lake Isetskoe

Таблица 1
Table 1

Таксационная характеристика пробных площадей
Taxation characteristics of sample plots

№ пробной площади No sample plot	Расстояние от кромки воды, м Distance from the water's edge, m	Высота над ур. м., м Altitude, m	Состав* Composition	Возраст, лет Age, years	Класс бонитета Bonitet class	Средняя высота, м Average height, m	Средний диаметр, см Average diameter, cm	Число стволов, экз./га Number of trunks, sp./ha	Площадь сечений, м²/га Cross-sectional area, m²/ha	Запас, м³/га Reserve, m³/ha
И4	70	250	10Б 10В	37	Va	2,2	2,9	5400	3,6	13,3
И3	110	251	10Б 10В	43	Va	2,5	4,7	2907	5,1	22,5
И2	200	252	7СЗБ 7РЗВ	74	Va	6,8	10,8	3283	29,9	172,5
И1	450	253	10С 10Р	162	Vб	5,5	11,5	2292	23,7	125,6

* С – сосна обыкновенная; Б – береза повислая; сосна обыкновенная представлена формами *P. sylvestris* L. f. *uliginosa* Abol. и *P. sylvestris* L. f. *litwinowii* Sukacz.

* Р – Scots pine; В – hanging birch; Scots pine is represented by the forms *P. sylvestris* L. f. *uliginosa* Abol. and *P. sylvestris* L. f. *litwinowii* Sukacz.

тратам времени и средств, которые не компенсируются повышением точности оценки (Усольцев, 2007). Для нижнего яруса на пяти площадках размером 1 м² каждой пробной площади были измерены и взвешены все растения кустарника и подраста. Замерялись диаметры у корневой шейки и высота растения, а после срезания – масса листвы (хвои) и остальная скелетная часть, после сушки которых были получены значения массы в абсолютно сухом состоянии. Замеряли возраст растения у его основания и путем деления на него надземной биомассы определяли годичный прирост. После валки дерева основного яруса измерялась длина его ствола, а после разметки по 10 относительным длинам выпиливали соответствующие диски. У каждого измеряли диаметр в коре и без коры, толщину и объем диска, взвешивали отдельно древесину и кору, а после сушки определяли содержание сухого вещества и базисную плотность древесины и коры. По базисной плотности определяли сухую массу древесины и коры каждого отрезка и ствола в целом. Крону больших деревьев делили на две или три равных секции, и от каждой брали навески хвои (листвы) и ветвей на сушку, у мелких деревьев брали по одной навеске из середи-

ны кроны. После сушки рассчитывали массу хвои (листвы) каждой секции и всего дерева в абсолютно сухом состоянии. Сушили диски и навески в термостате при 100–105 °С до постоянной массы. Возраст деревьев определяли по методу Г. Е. Комина (1964). Пень каждого модельного дерева извлекали, выпиливали пластину вдоль центральной части пня, затем из пластины в поперечном направлении выпиливали брусок с таким расчетом, чтобы точка гипокотили находилась примерно в центре бруска. Путем отсчета годичных колец от точки гипокотили определяли возраст дерева.

Результаты и их обсуждение

В наступившую эру больших данных, искусственного интеллекта и нейронных сетей первоочередное значение имеют фактические данные биомассы модельных деревьев (Часовских и др., 2025), а не только результаты той или иной их обработки. Результаты выполненных замеров и расчетов в виде фактических данных фракционного состава надземной биомассы деревьев по каждой пробной площади представлены в табл. 2 и биомассы нижнего яруса в совокупности – в табл. 3.

Таблица 2
Table 2

Биомасса модельных деревьев, взятых на четырех пробных площадях*
Biomass of model trees taken from four sample plots*

№ дерева No tree	Порода Species	А, лет years	D, см cm	H, м m	Биомасса фракций в абсолютно сухом состоянии, кг Biomass of fractions in absolutely dry condition, kg					Отмер- шие ветви, кг Dead branches, kg
					Ствол в коре Trunk in bark	Кора ствола Bark of trunk	Ветви Branches	Листва (хвоя) Foliage (needles)	Итого Total	
Пробная площадь И4 Sample plot I4										
6	Б	19	1,1	2,1	0,42	0,13	0,04	0,08	0,54	–
5	Б	37	1,8	3,0	0,43	0,14	0,05	0,06	0,54	–
4	Б	35	2,8	3,5	1,00	0,34	0,07	0,07	1,14	0,12
3	Б	28	3,7	4,5	1,87	0,54	0,47	0,29	2,63	–
2	Б	45	5,2	5,4	3,20	0,90	0,45	0,25	3,90	–
1	Б	50	6,4	6,0	5,78	1,63	0,52	0,53	6,83	0,16

Окончание табл. 2
The end of the table 2

№ дерева No tree	Порода Species	А, лет years	D, см cm	H, м m	Биомасса фракций в абсолютно сухом состоянии, кг Biomass of fractions in absolutely dry condition, kg					Отмер- шие ветви, кг Dead branches, kg
					Ствол в коре Trunk in bark	Кора ствола Bark of trunk	Ветви Branches	Листва (хвоя) Foliage (needles)	Итого Total	
Пробная площадь И3 Sample plot I3										
6	Б	42	1,9	2,9	0,38	0,11	0,03	0,07	0,48	–
5	Б	37	2,9	3,6	0,92	0,24	0,07	0,18	1,16	0,06
4	Б	39	3,5	5,3	2,00	0,54	0,11	0,23	2,34	0,01
3	Б	43	5,0	6,2	3,70	0,48	0,35	0,34	4,39	–
1	Б	45	5,7	6,5	4,53	0,93	1,07	0,75	6,35	0,31
2	Б	66	10,8	8,4	18,78	4,49	1,85	1,01	21,64	0,34
Пробная площадь И2 Sample plot I2										
6	Б	34	2,7	4,95	0,84	0,24	0,14	0,05	1,03	–
5	Б	55	4,0	6,5	2,18	0,54	0,30	0,25	2,73	–
4	Б	60	8,2	9,55	11,89	2,58	1,58	1,55	15,02	–
3	Б	117	12,2	13,4	44,80	8,21	6,12	2,96	53,88	0,42
2	Б	121	12,9	13,6	44,50	8,54	9,05	3,13	56,68	0,09
1	Б	125	17,1	14,5	83,29	17,03	6,69	5,16	95,14	0,74
6	С	38	2,4	3,67	0,51	0,11	0,08	0,15	0,74	0,03
5	С	62	6,1	8,35	5,05	1,13	0,62	0,67	6,34	0,20
4	С	61	9,8	8,8	10,59	1,50	2,25	1,81	14,65	0,38
3	С	122	13,8	10,1	29,67	3,44	3,08	1,12	33,87	0,63
2	С	128	17,5	12,8	66,61	7,61	7,95	6,21	80,77	1,34
1	С	155	21,3	12,45	84,67	5,15	17,17	6,99	108,83	5,69
Пробная площадь И1 Sample plot I1										
6	С	82	4,55	6,3	2,84	0,42	0,30	0,71	3,85	0,09
3	С	75	5,1	7,5	4,46	0,99	0,58	1,06	6,10	0,21
2	С	230	9,2	9,35	8,84	1,31	0,94	0,79	10,57	0,34
1	С	160	10,5	8,9	21,34	1,43	4,69	2,44	28,47	1,25
5	С	152	13,2	9,8	31,96	2,59	7,40	4,67	44,03	3,84
4	С	172	16,5	9,05	36,95	4,69	27,5	5,98	70,47	8,41

* А – возраст дерева, лет; D – диаметр ствола на высоте груди, см; H – высота дерева, м.

* A is the age of the tree, years; D is the stem diameter at breast height, cm; H is the height of the tree, m.

Таблица 3

Table 3

Характеристика исходных данных подлесочных (кустарничковых) видов
и подроста совокупно по всем пробным площадям*

Characteristics of the experimental data of understorey (shrubby)
and main storey species combined for all sample plots*

Подлесок (кустарнички) Understorey (shrubs)						Подрост Main storey					
D_0 , мм mm	A , лет years	H , см cm	P_f , г g	P_a , г g	Z_a , г g	D_0 , мм mm	A , лет years	H , см cm	P_f , г g	P_a , г g	Z_a , г g
Багульник (<i>Ledum palustre</i> L.)						Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> L.)					
5,0	13	45,2	1,900	8,60	0,662	7,5	8	65,0	9,940	21,07	2,634
5,1	13	43,2	1,870	6,87	0,528	7,0	9	78,0	5,330	24,92	2,769
4,5	6	36,7	1,850	4,95	0,825	6,5	7	59,0	8,770	19,37	2,767
5,1	9	35,8	1,700	6,40	0,711	5,0	7	61,0	5,650	14,47	2,067
5,3	9	33,4	1,970	6,97	0,774	4,5	7	43,0	3,340	8,60	1,229
3,1	6	36,2	0,950	3,85	0,642	2,5	3	33,0	0,987	2,00	0,666
2,8	3	58,0	1,900	3,80	1,267	2,5	3	29,0	0,805	1,72	0,572
2,9	4	48,0	1,600	4,20	1,050	1,5	2	16,0	0,398	0,65	0,324
2,7	3	61,0	1,800	2,70	0,900	0,5	2	7,3	0,750	1,02	0,510
4,7	7	42,0	1,003	5,61	0,802	0,8	3	9,8	0,910	1,90	0,633
5,0	6	59,0	0,789	4,69	0,782	Береза (<i>Betula pendula</i> L.)					
4,0	6	42,0	0,697	4,50	0,750	9,5	2	71,0	2,040	3,62	1,810
4,0	5	29,0	0,518	4,92	0,984	6,5	7	70,0	1,310	3,84	0,549
5,0	6	28,5	0,583	3,72	0,621	3,5	9	27,0	0,420	2,19	0,244
Кассандра (<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench)						4,0	5	27,0	0,670	1,11	0,222
1,5	9	64,0	0,820	5,32	0,591	4,0	4	29,5	0,460	2,53	0,633
1,6	5	60,0	1,150	8,25	1,650	4,0	4	49,5	0,370	4,02	1,010
0,9	8	54,0	0,420	3,32	0,415	6,5	4	38,0	0,324	3,48	1,097
3,5	7	54,0	1,030	6,93	0,990	7,0	4	36,0	0,590	3,54	0,791
4,0	4	45,0	0,970	2,50	0,625	6,0	4	21,0	0,816	1,19	0,301
4,0	4	64,0	1,740	8,76	2,190	5,5	3	54,0	0,381	3,41	1,137
4,2	5	37,0	0,680	3,83	0,766	5,6	2	50,0	0,940	1,67	0,902
4,5	7	51,0	0,940	5,09	0,727	Ива черничная (<i>Salix myrtilloides</i> L.)					
3,0	4	44,0	0,412	2,68	0,671	4,5	6	29,0	0,420	3,06	0,510
3,5	5	29,0	0,421	2,84	0,568	5,0	6	37,0	0,580	4,24	0,707
4,0	4	33,0	0,458	3,67	0,917	5,0	6	51,0	1,380	7,22	1,203
3,5	4	32,0	0,549	2,45	0,612	8,0	9	46,0	2,820	13,91	1,546
3,5	3	30,5	0,405	3,08	1,025	8,0	11	29,0	1,160	11,18	1,016
Брусника (<i>Vaccinium vitis-iraea</i> L.)						4,0	6	33,0	0,403	3,40	0,567
1,1	2	24,5	0,450	1,85	0,925	5,0	4	28,0	0,410	4,80	1,200
2,0	5	19,4	0,510	3,11	0,622	4,0	4	32,5	0,307	4,37	1,092
1,5	2	18,2	0,740	2,24	1,120	5,0	5	38,5	0,459	4,58	0,916
1,1	3	17,7	0,350	1,75	0,583	6,5	5	31,0	0,550	4,54	0,908

Окончание табл. 3
The end of the table 3

Подлесок (кустарнички) Understorey (shrubs)						Подрост Main storey					
D_0 , мм mm	A , лет years	H , см cm	P_f , г g	Pa , г g	Za , г g	D_0 , мм mm	A , лет years	H , см cm	P_f , г g	Pa , г g	Za , г g
0,8	2	14,5	0,175	1,18	0,588	—	—	—	—	—	—
1,5	3	12,0	0,151	0,38	0,125	—	—	—	—	—	—
1,0	3	11,0	0,272	0,40	0,132	—	—	—	—	—	—
1,0	2	8,0	0,227	0,34	0,171	—	—	—	—	—	—
2,0	6	12,0	0,523	1,12	0,187	—	—	—	—	—	—
1,0	3	9,0	0,162	0,26	0,086	—	—	—	—	—	—
Голубика (<i>Vaccinium uliginosum</i> L.)						—	—	—	—	—	—
1,9	8	67,0	1,650	6,25	0,781	—	—	—	—	—	—
1,7	6	40,5	1,400	3,60	0,600	—	—	—	—	—	—
2,3	9	57,0	2,700	6,80	0,756	—	—	—	—	—	—
1,5	6	49,5	5,900	9,20	1,533	—	—	—	—	—	—
0,9	8	44,0	2,700	5,80	0,725	—	—	—	—	—	—
0,5	5	51,3	2,900	5,00	1,000	—	—	—	—	—	—
0,8	8	42,0	3,900	7,10	0,888	—	—	—	—	—	—
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)						—	—	—	—	—	—
1,4	4	73,7	4,800	5,65	1,413	—	—	—	—	—	—
0,9	2	28,0	1,700	2,35	1,175	—	—	—	—	—	—
0,8	2	28,0	2,300	3,10	1,550	—	—	—	—	—	—
1,0	2	24,5	0,210	0,84	0,420	—	—	—	—	—	—

* D_0 – диаметр стволика у основания, мм; A – возраст растения, лет; H – высота растения, см; P_f – масса листвы (хвои) в абсолютно сухом состоянии, г; Pa – надземная масса в абсолютно сухом состоянии, г; Za – годичный прирост надземной биомассы, г.

* D_0 is the diameter of the stem at the base, mm; A is the age of the plant, years; H is the height of the plant, cm; P_f is the mass of foliage (needles) in an absolutely dry condition, g; Pa is the above-ground mass in an absolutely dry condition, g; Za – annual growth in aboveground biomass, g.

Известно, что при оценке биомассы дерева основными дендрометрическими показателями, объясняющими ее варьирование, служат возраст, высота дерева и диаметр ствола на высоте груди (Усольцев, 1988). В узком диапазоне лесорастительных условий не все из названных показателей являются статистически значимыми вследствие их взаимной корреляции (мультиколлинеарности) (Усольцев, Часовских, 2025). Первоначально данные табл. 2 были подвергнуты регрессионному анализу согласно модели

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A, \quad (1)$$

где P_i – биомасса i -й фракции: ствола в коре (P_{st}), коры ствола (P_{bark}), ветвей (P_{br}), хвои и листвы (P_f), надземная (P_a) и отмерших ветвей (P_{mort}), кг; D – диаметр ствола на высоте груди, см; H – высота дерева, м; A – возраст дерева, лет; a_0, a_1, a_2, a_3 – регрессионные коэффициенты модели. Было установлено, что у обеих пород две переменные $\ln H$ и $\ln A$ оказались статистически незначимыми ($t_{\text{факт}} = 0,01 \dots 1,2 < t_{05} = 1,96$). Затем был выполнен 2-факторный анализ в двух вариантах:

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H, \quad (2)$$

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln A. \quad (3)$$

Оказалось, что у березы согласно моделям (2) и (3) для всех фракций биомассы переменные $\ln H$ и $\ln A$ были статистически незначимы ($t_{\text{факт}} = 0,01 \dots 1,7 < t_{05} = 1,96$). У сосны переменная $\ln H$ была значима для массы ствола и ветвей ($t_{\text{факт}} = 2,0 \dots 2,1 > t_{05} = 1,96$), а переменная $\ln A$ – для массы ствола, коры и надземной ($t_{\text{факт}} = 2,1 \dots 5,1 > t_{05} = 1,96$). Переменная $\ln D$ оказалась статистически значимой на уровне вероятности P_{999} во всех случаях. В окончательном варианте для обеих пород была принята структура простой однофакторной модели

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D, \quad (4)$$

поскольку при исключении из модели (3) даже наиболее значимой переменной $\ln A$ для надземной биомассы сосны при значении $t_{\text{факт}}$ равном 5,1, коэффициент детерминации снизился лишь на 1,9 %, а во всех других случаях исключение статистически значимых переменных $\ln H$ и $\ln A$ снижало коэффициент детерминации менее чем на 1 %. Результаты расчета моделей (4) сведены

в табл. 4, а их геометрическая интерпретация дана на рис. 2.

Судя по графикам на рис. 2, две породы по биомассе ствола в коре, ветвей и надземной различаются несущественно. Однако масса ассимиляционного аппарата у березы существенно больше, а масса коры, напротив, меньше, чем у сосны, и совершенно разная аллометрия у березы и сосны по массе отмерших ветвей.

Для оценки региональной применимости моделей (4) было выполнено сравнение фактических данных нашего болотного профиля с соответствующими данными сфагновых сосняков и осоковых березняков Березинского заповедника в Белоруссии с уровнем болотных вод от 2 до 36 см и глубиной торфяной залежи от 2 до 7 м (Валетов и др., 1985). Данные биомассы деревьев аппроксимированы моделью (4), в которую включена бинарная переменная X , кодирующая принадлежность данных к одному из двух регионов, $X = 0$ для наших данных и $X = 1$ для данных по Березинскому заповеднику. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 4
Table 4

Характеристика аллометрических моделей (4)
Characteristics of allometric models (4)

$\ln P_i$	Береза Birch				Сосна Pine			
	Регрессионные коэффициенты и показатели адекватности Regression coefficients and adequacy indicators				Регрессионные коэффициенты и показатели адекватности Regression coefficients and adequacy indicators			
	a_0^*	$a_1 \ln D$	$adjR^{2**}$	SE^{***}	a_0^*	$a_1 \ln D$	$adjR^{2**}$	SE^{***}
$\ln P_{st}$	–1,9888	2,1307	0,947	0,349	–2,4721	2,2610	0,976	0,229
$\ln P_{bark}$	–3,0492	1,9092	0,929	0,367	–3,3736	1,7508	0,923	0,325
$\ln P_{br}$	–4,3480	2,3432	0,896	0,554	–4,8556	2,5829	0,908	0,530
$\ln P_f$	–3,6302	1,7688	0,850	0,514	–3,0228	1,6412	0,813	0,503
$\ln P_a$	–1,7505	2,1177	0,944	0,357	–2,1517	2,2508	0,974	0,238
$\ln P_{mort}$	–3,1837	0,8606	0,611	0,419	–5,5517	2,4248	0,836	0,721

* В свободный член введена поправка на логарифмирование (Baskerville, 1972).

** $adjR^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных.

*** SE – стандартная ошибка уравнения

* A correction for logarithmic transformation (Baskerville, 1972) was introduced into the intercept.

** $adjR^2$ – coefficient of determination adjusted for the number of variables.

*** SE – standard error of the equation.

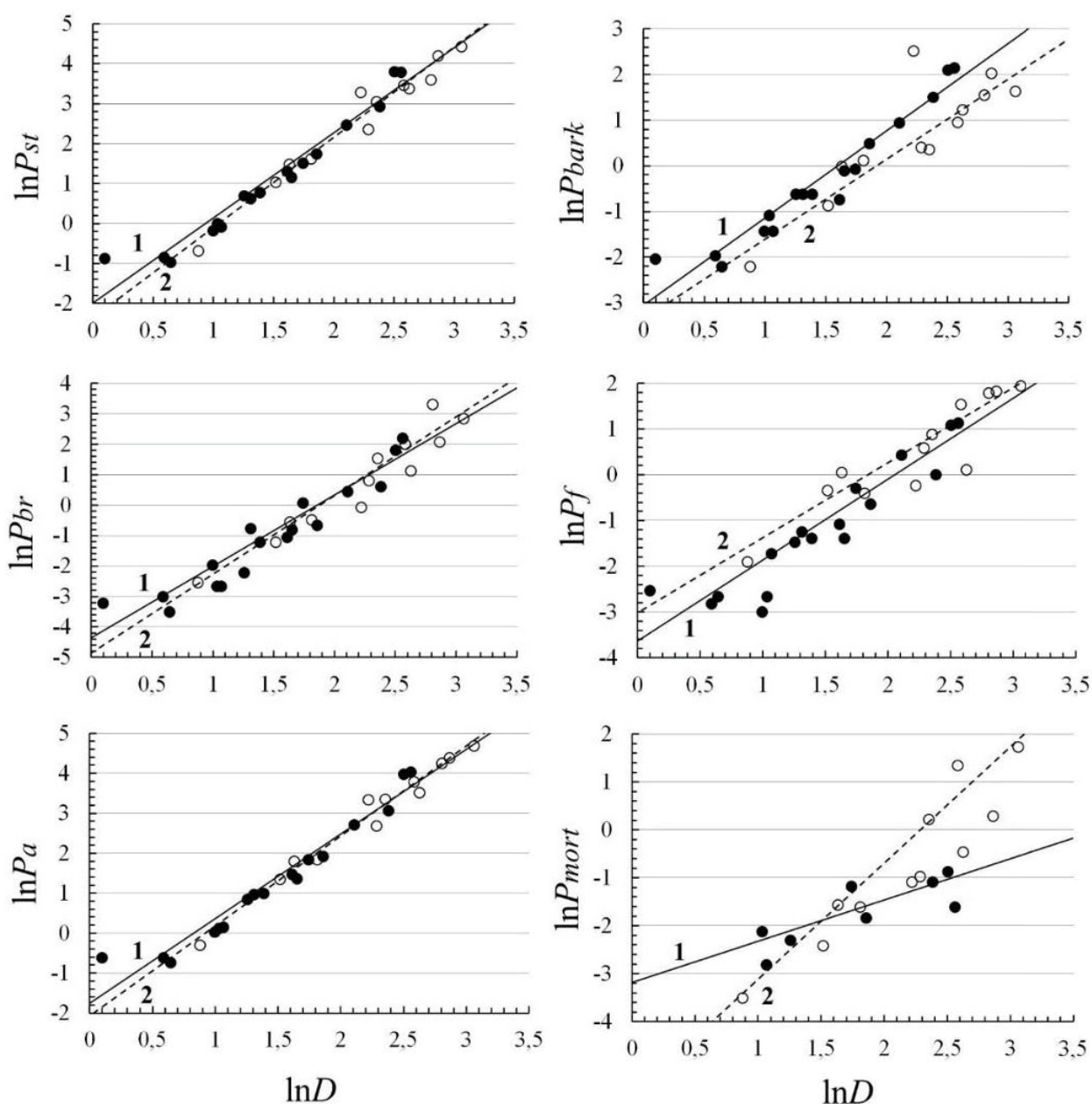


Рис. 2. Графическое представление моделей (4) для березы (1) (●) и сосны (2) (○)

Fig. 2. Graphical representation of models (4) for birch (1) (●) and pine (2) (○)

Судя по знакам при бинарной переменной X , биомасса всех фракций у обеих пород в Березинском заповеднике меньше, чем на нашем объекте, и по некоторым фракциям это различие довольно большое. Так, у березы по биомассе ствола в коре, коры ствола, ветвей, листвы (хвой) и надземной разница составила соответственно -20 , -59 , -49 , -90 и -28 %, а у сосны соответственно -5 , -19 , -2 , -64 и -16 %. В Березинском заповеднике пробные площади как по сосне, так и по березе были заложены по экологическим профилям в градиентах увлаж-

нения. Соответственно, класс бонитета варьировал от II до IV в осоковых березовых лесоболотных системах и от II до Vб в сфагновых сосновых лесоболотных системах. На нашем объекте класс бонитета был довольно стабильным (Va–Vб). Таким образом, фракционный состав биомассы деревьев в лесоболотных системах разных регионов может достигать существенных различий.

В наших предыдущих исследованиях биомассы нижнего яруса на суходолах Среднего Урала было показано, что изменчивость биомассы под-

Таблица 5

Table 5

Результаты сопоставления аллометрических моделей биомассы деревьев
в лесоболотных системах двух регионов

The results of comparing the allometric models of tree biomass
in the forest-swamp systems of the two regions

$\ln P_i$	Береза Birch					Сосна Pine				
	Регрессионные коэффициенты и показатели адекватности Regression coefficients and adequacy indicators					Регрессионные коэффициенты и показатели адекватности Regression coefficients and adequacy indicators				
	a_0	$a_1 \ln D$	$a_2 X$	$adjR_2$	SE	a_0	$a_1 \ln D$	$a_2 X$	$adjR_2$	SE
$\ln P_{st}$	-2,7466	2,5583	-0,2222	0,985	0,216	-3,6699	2,8327	-0,0484	0,981	0,299
$\ln P_{bark}$	-3,9665	2,4509	-0,8773	0,963	0,286	-5,0665	2,5463	-0,2144	0,954	0,418
$\ln P_{br}$	-5,1140	2,7342	-0,6644	0,964	0,336	-4,7402	2,4381	-0,0189	0,983	0,239
$\ln P_f$	-4,8031	2,4400	-2,3002	0,914	0,349	-4,7664	2,4099	-1,0207	0,950	0,418
$\ln P_a$	-2,5291	2,5568	-0,3337	0,984	0,221	-3,1414	2,7392	-0,1766	0,982	0,279

леска объясняется величиной диаметра стволика у основания на 61–99 %, а высотой растения – на 42–92 % (Биомасса подлесочных видов..., 2023а). По подросту аналогичные цифры составили соответственно 72–99 и 73–97 % (Биомасса подроста..., 2023б).

В целом диаметр стволика характеризовался несколько большей объяснительной способностью по сравнению с высотой растения.

Регрессионный анализ зависимостей биомассы растений от их диаметра у основания по материалам табл. 3 ни в одном случае не показал уровня значимости на уровне вероятности P_{05} . Поэтому аллометрические модели биомассы растений нижнего яруса рассчитаны только по их высоте согласно модели общего вида

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln H, \quad (5)$$

где H – высота растения, см; P_i – биомасса i -й фракции, г. Результаты расчета показаны в табл. 6.

Далее было выполнено сравнение фактических данных биомассы нижнего яруса нашего болотного профиля с соответствующими данными биомассы нижнего яруса суходолов Среднего Урала. Данные биомассы растений аппроксимиро-

ваны моделью (5), в которую включена бинарная переменная X , кодирующая наши данные ($X = 0$) и данные суходолов ($X = 1$).

По подросту сопоставление выполнено для каждого вида отдельно, а по подлеску – по совокупности видов, поскольку видовой состав на болоте (пять видов) и на суходолах (девять видов) был совершенно разный. Результаты представлены в табл. 7.

Согласно моделям табл. 7, по совокупности подлесочных видов биомасса равновеликих растений на суходоле по надземной массе меньше на 4 %, а по массе ассимиляционного аппарата больше на 11 % по сравнению с биомассой на болоте. По подросту масса ассимиляционного аппарата больше на суходоле у сосны, березы и ивы соответственно на 35, 46 и 273 %. Значение надземной биомассы сосны на суходоле больше на 13 %, а березы и ивы – меньше соответственно на 17 и 26 % по сравнению с таковой на болоте. Таким образом, структура биомассы как подлеска в целом, так и подроста разных пород существенно различается между суходолом и лесоболотной системой.

Таблица 6

Table 6

Характеристика аллометрических моделей (5)

Characteristics of allometric models (5)

Вид Species	$\ln P_i$	Регрессионные коэффициенты и показатели адекватности Regression coefficients and adequacy indicators			
		a_0	$a_1 \ln H$	$adjR^2$	SE
Подлесок / Understorey					
Багульник (<i>Ledum palustre</i> L.)	$\ln P_a$	−2,1700	1,0108	0,267	0,353
	$\ln P_f$	−4,2678	1,2441	0,280	0,423
Кассандра (<i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench)	$\ln P_a$	−2,8757	1,1440	0,501	0,317
	$\ln P_f$	−4,8301	1,1920	0,470	0,350
Брусника (<i>Vaccinium vitis-iraea</i> L.)	$\ln P_a$	−5,9049	2,2494	0,772	0,431
	$\ln P_f$	−3,6302	0,9772	0,317	0,462
Голубика (<i>Vaccinium uliginosum</i> L.)	$\ln P_a$	−2,4641	1,0967	0,356	0,232
	$\ln P_f$	−1,9367	0,7416	0,463	0,131
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	$\ln P_a$	−1,8917	0,8500	0,852	0,176
	$\ln P_f$	−3,3214	1,1616	0,728	0,342
Подрост / Main storey					
Сосна Pine	$\ln P_a$	−3,1941	1,4570	0,728	0,727
	$\ln P_f$	−3,0311	1,1728	0,645	0,703
Береза Birch	$\ln P_a$	−2,3426	0,8935	0,503	0,345
	$\ln P_f$	−3,5416	0,8564	0,734	0,206
Ива Willow	$\ln P_a$	−3,9607	1,5757	0,494	0,307
	$\ln P_f$	−8,8523	2,3977	0,461	0,496

Таблица 7

Table 7

Результаты сопоставления аллометрических моделей биомассы растений
нижнего яруса на болоте и на суходоле
Results of comparison of allometric models of biomass of plants of the understorey
in the forest-swamp and on the dry valley conditions

Вид Species	$\ln P_i$	Регрессионные коэффициенты и показатели адекватности Regression coefficients and adequacy indicators				
		a_0	$a_1 \ln H$	$a_2 X$	$adjR^2$	SE
Подлесок Understorey	$\ln P_a$	-5,6738	2,0077	-0,0440	0,860	0,692
	$\ln P_f$	-5,0643	1,4911	0,1079	0,744	0,774
Подрост / Main storey						
Сосна Pine	$\ln P_a$	-5,7968	2,2179	0,1287	0,891	0,746
	$\ln P_f$	-5,3765	1,8877	0,2990	0,829	0,849
Береза Birch	$\ln P_a$	-6,6252	2,1668	-0,1863	0,768	0,970
	$\ln P_f$	-5,5693	1,4898	0,3813	0,716	0,811
Ива Willow	$\ln P_a$	-5,6951	2,0636	-0,3030	0,972	0,299
	$\ln P_f$	-5,3726	1,4196	1,3164	0,929	0,511

Выводы

Таким образом, впервые для лесоболотных систем Среднего Урала получены фактические данные биомассы основного яруса в количестве 18 и 12 деревьев соответственно березы и сосны, а также 48 модельных растений кустарничкового яруса пяти видов и 31 растение подроста трех пород. Получены аллометрические модели надземной биомассы деревьев по полному фракционному составу в связи с диаметром на высоте груди, объясняющие от 61 до 95 % ее изменчивости у березы и от 81 до 97 % изменчивости у сосны. Сопоставление полученных результатов с данными по лесоболотным системам Березинского заповедника в Белоруссии показало, что по всем фракциям

биомасса равновеликих деревьев березы и сосны в Белоруссии существенно меньше, чем на Урале. Для подлеска и подроста получены статистически значимые аллометрические зависимости надземной и ассимиляционной биомассы от высоты растения. Сравнение их с соответствующими показателями суходолов показало, что структура биомассы как подлеска в целом, так и подроста разных пород существенно различается между суходолом и лесоболотной системой. Полученные аллометрические модели биомассы деревьев основного яруса и растений подлеска и подроста дают возможность оперативной оценки названных показателей на единице площади лесоболотных систем Среднего Урала.

Список источников

- Базилевич Н. И. Продуктивность и биологический круговорот в моховых болотах Южного Васюганья // Растительные ресурсы. 1967. Т. 3. Вып. 4. С. 567–588.
- Биомасса подлесочных видов Урала и ее аллометрические модели / В. А. Усольцев, И. С. Цепордей, А. Ф. Уразова [и др.]. // Леса России и хозяйство в них. 2023а. № 1. С. 30–40.
- Биомасса подроста лесообразующих видов Урала и ее аллометрические модели / В. А. Усольцев, И. С. Цепордей, А. Ф. Уразова [и др.]. // Леса России и хозяйство в них. 2023б. № 3. С. 51–64.
- Боч М. С., Мазинг В. В. Экосистемы болот СССР. Л. : Наука, 1979. 188 с.
- Валетов В. В. Фитомасса и первичная продукция безлесных и лесных болот. Минск : Березинский биосферный гос. заповедник, 1992. Ч. 1. 218 с. Ч. 2. 179 с.
- Валетов В. В., Кудин М. В., Смоляк Л. П. Структура первичной продукции болотных лесов. Минск : Ураджай, 1985. 164 с.
- Валуцкий В. И., Храмов А. А. Структура и первичная продуктивность рямов юго-восточного Васюганья // Теория и практика лесного болотоведения и гидролесомелиорации. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1976. С. 59–81.
- Вомперский С. Э. Роль болот в круговороте углерода // Чтения памяти академика В. Н. Сукачева. XI: Биогеоценотические особенности болот и их рациональное использование. М. : Наука, 1994. С. 5–37.
- Головацкая Е. А. Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2009. № 2. С. 38–53.
- Карпенко Л. В., Прокушкин А. С., Корец М. А. Территориальные особенности болот северной части Сым-Дубческого междуречья (Красноярский край) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 9. С. 103–111.
- Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.
- Комин Г. Е. Методика определения возраста деревьев в заболоченных лесах // Записки Свердловского отделения Всесоюзного ботанического общества. 1964. Вып. 3. С. 133–140.
- Коронатова Н. Г., Косых Н. П. Продуктивность древесного яруса на верховых болотах в таежной зоне Западной Сибири // Лесоведение. 2022. № 4. С. 432–448.

- Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П., Паришина Е. К. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2008. Вып. 4 (78). С. 53–57.
- Медведева В. М. Фитомасса сосновых заболоченных лесов различного возраста в подзоне средней тайги Карелии // Пути изучения и освоения болот Северо-Запада европейской части СССР. Л. : Наука, 1974. С. 99–106.
- Пьявченко Н. И. Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири // Лесоведение. 1967. № 3. С. 32–43.
- Солоневич Н. Г. К методике определения биологической продуктивности болотных растительных сообществ // Ботанический журнал. 1971. Т. 56, № 4. С. 497–511.
- Сукачев В. Н. Болота, их образование, развитие и свойства. 3-е изд. Л. : Изд-во Ленингр. лесн. ин-та, 1926. 162 с.
- Титлянова А. А. Чистая первичная продукция травяных и болотных экосистем // Сибирский экологический журнал. 2007. № 5. С. 763–770.
- Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург : УрО РАН, 2007. 636 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3281> (дата обращения: 24.12.2025).
- Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 253 с. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352> (дата обращения: 24.12.2025).
- Усольцев В. А., Цепордей И. С., Норицин Д. В. Аллометрические модели биомассы деревьев лесообразующих пород Урала // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 1. С. 4–14.
- Усольцев В. А., Часовских В. П. Прогнозирование радиального прироста стволов в естественных сосняках и культурах по морфометрии крон, доступной для наземного лидарного сканирования, с учетом мультиколлинеарности факторов // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. 43, № 5. С. 25–35.
- Храмов А. А., Валуцкий В. И. Лесные и болотные фитоценозы восточного Васюганья. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1977. 220 с.
- Часовских В. П., Усольцев В. А., Кох Е. В. Естественный и искусственный интеллект как инструмент преобразования данных. Екатеринбург : УрГЭУ, 2025. 352 с.
- Шадрина Н. И. Продуктивность надземной биомассы болотных лесов Тавдинского Зауралья // Лесоведение. 1968. № 4. С. 39–47.
- A study of dominant vegetation phenology in a sphagnum mountain peatland using in situ and Sentinel-2 observations / R. Garisoain, C. Delire, B. Decharme [et al.] // Journal of Geophysical Research : Biogeosciences. 2023. Vol. 128, № 10. Article e2023JG007403.
- Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2, № 1. P. 49–53.
- Biomass and carbon stock assessment of peat swamp forest ecosystem; A case study in permanent forest reserve Pekan Pahang, Malaysia / M. M. Afzanizam, E. Philip, A. B. Shahrul [et al.] // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2019. Vol. 6, № 1. P. 1–31.
- Brække F. H. Distribution and yield of biomass from young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands on drained and fertilized peatland // Scandinavian Journal of Forest Research. 1986. Vol. 1, № 1–4. P. 49–66.
- Ivanova N. S., Zolotova E. S., Li G. Influence of soil moisture regime on the species diversity and biomass of the herb layer of pine forests in the Ural Mountains // Ecological Questions. 2021. Vol. 32, № 2. P. 26–38.
- Nugroho N. P. Developing site-specific allometric equations for above-ground biomass estimation in peat swamp forests of Rokan Hilir district, Riau province, Indonesia // Indonesian Journal of Forestry Research. 2014. Vol. 11, № 1. P. 53–71.

- Restoration induced long-term vegetation change in oligotrophic peatlands / *N. Kumpulainen, E.-S. Tuittila, A. Tolvanen* [et al.] // *Journal of Applied Ecology*. 2025. Vol. 62, № 11. P. 3142–3155.
- Sarmiento R. T., Garcia G. A. A.* Carbon sequestration and storage potential of indigenous tree species in the fresh water swamp forests of Agusan marsh wildlife sanctuary // *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 25, № 6. P. 485–496.
- Spatiotemporal change of aboveground biomass and its response to climate change in marshes of the Tibetan Plateau / *Y. Wang, X. Shen, M. Jiang* [et al.] // *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*. 2021. Vol. 102. Article 102385.
- The state of drained peatlands in the Middle Urals and prospects of their use for carbon farming / *S. O. R. Shobairi, A. Kochubei, O. Cherepanova* [et al.] // *Computational Ecology and Software*. 2025. Vol. 15, № 2. P. 45–56.

References

- A study of dominant vegetation phenology in a sphagnum mountain peatland using in situ and Sentinel-2 observations / *R. Garisoain, C. Delire, B. Decharme* [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2023. Vol. 128, № 10. Article e2023JG007403.
- Baskerville G. L.* Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2, № 1. P. 49–53.
- Bazilevich N. I.* Productivity and biological cycle in the moss swamps of the Southern Vasyugan // *Plant resources*. 1967. Vol. 3, № 4. P. 567–588. (In Russ.).
- Biomass and carbon stock assessment of peat swamp forest ecosystem; A case study in permanent forest reserve Pekan Pahang, Malaysia / *M. M. Afzanizam, E. Philip, A. B. Shahrul* [et al.] // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2019. Vol. 6, № 1. P. 1–31.
- Biomass of the undergrowth plants in the Ural forests and its allometric models / *V. A. Usoltsev, I. S. Tsepordey, A. F. Urazova* [et al.] // *Forests of Russia and economy in them*. 2023. № 3 (86). P. 51–64. (In Russ.)
- Biomass of the underwood plants in the Urals and its allometric models / *V. A. Usoltsev, I. S. Tsepordey, A. F. Urazova* [et al.] // *Forests of Russia and economy in them*. 2023. № 1. P. 30–40. (In Russ.)
- Boch M. S., Mazing V. V.* Ecosystems of swamps of the USSR. Leningrad : Nauka Publ., 1979. 188 p.
- Brække F. H.* Distribution and yield of biomass from young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands on drained and fertilized peatland // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1986. Vol. 1, № 1-4. P. 49–66.
- Chasovskikh V. P., Usoltsev V. A., Koch E. V.* Natural and artificial intelligence as a tool for data transformation. Yekaterinburg : USUE Publ., 2025. 352 p.
- A study of dominant vegetation phenology in a sphagnum mountain peatland using in situ and Sentinel-2 observations / *R. Garisoain, C. Delire, B. Decharme* [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2023. Vol. 128. № 10. Article e2023JG007403
- Golovatskaya E. A.* Biological productivity of oligotrophic and eutrophic swamps of the Southern Taiga subzone of Western Siberia // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2009. № 2. P. 38–53. (In Russ.)
- Ivanova N. S., Zolotova E. S., Li G.* Influence of soil moisture regime on the species diversity and biomass of the herb layer of pine forests in the Ural Mountains // *Ecological Questions*. 2021. Vol. 32, № 2. P. 26–38.
- Karpenko L. V., Prokushkin A. S., Korets M. A.* Territorial features of the marshes of the northern part of the Siberian interfluvium (Krasnoyarsk Territory) // *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2012. № 9. P. 103–111. (In Russ.)
- Khramov A. A., Valutskiy V. I.* Forest and marsh phytocenoses of eastern Vasyugan. Novosibirsk : Science Publ. Siberian Branch, 1977. 220 p.

- Kolesnikov B. P., Zubareva R. S., Smolonogov E. P.* Forest conditions and types of forests in the Sverdlovsk region. Sverdlovsk : USC of the USSR Academy of Sciences, 1973. 176 p.
- Komin G. E.* Methodology for determining the age of trees in swampy forests // Notes of the Sverdlovsk branch of the All-Union Botanical Society. 1964. № 3. P. 133–140. (In Russ.)
- Koronatova N. G., Kosykh N. P.* Productivity of the tree tier in the upper marshes in the taiga zone of Western Siberia // Forestry Science. 2022. № 4. P. 432–448. (In Russ.)
- Kosykh N. P., Mironycheva-Tokareva N. P., Parshina E. K.* Biological productivity of forest tundra swamps of Western Siberia // Bulletin of Tomsk State Pedagogical University. 2008. № 4 (78). P. 53–57. (In Russ.)
- Medvedeva V. M.* Phytomass of pine swampy forests of various ages in the subzone of the middle taiga of Karelia // Ways of studying and developing the swamps of the north-west of the European part of the USSR. Leningrad : Science Publ., 1974. P. 99–106. (In Russ.)
- Nugroho N. P.* Developing site-specific allometric equations for above-ground biomass estimation in peat swamp forests of Rokan Hilir district, Riau province, Indonesia // Indonesian Journal of Forestry Research. 2014. Vol. 11, № 1. P. 53–71.
- Piavchenko N. I.* Biological productivity and circulation of substances in swamp forests of Western Siberia // Forestry. 1967. № 3. P. 32–43. (In Russ.)
- Restoration induced long-term vegetation change in oligotrophic peatlands / *N. Kumpulainen, E.-S. Tuittila, A. Tolvanen* [et al.] // Journal of Applied Ecology. 2025. Vol. 62, № 11. P. 3142–3155.
- Sarmiento R. T., Garcia G. A. A.* Carbon sequestration and storage potential of indigenous tree species in the fresh water swamp forests of Agusan marsh wildlife sanctuary // Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021. Vol. 25, № 6. P. 485–496.
- Shadrina N. I.* Productivity of aboveground biomass of swamp forests of the Tavda Trans-Urals // Forestry Science. 1968. № 4. P. 39–47. (In Russ.)
- Solonevich N. G.* On the methodology for determining the biological productivity of marsh plant communities // Botanical Journal. 1971. Vol. 56, № 4. P. 497–511. (In Russ.)
- Spatiotemporal change of aboveground biomass and its response to climate change in marshes of the Tibetan Plateau / *Y. Wang, X. Shen, M. Jiang* [et al.] // International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation. 2021. Vol. 102. Article 102385.
- Sukachev V. N.* Marshes, their formation, development and properties. Ed. 3. Leningrad : Publishing House of the Leningrad Forest Institute, 1926. 162 p.
- The state of drained peatlands in the Middle Urals and prospects of their use for carbon farming / *S. O. R. Shobairi, A. Kochubei, O. Cherepanova* [et al.] // Computational Ecology and Software. 2025. Vol. 15, № 2. P. 45–56.
- Titlyanova A. A.* Net primary products of grass and marsh ecosystems // Siberian Ecological Journal. 2007. № 5. P. 763–770. (In Russ.)
- Usoltsev V. A.* Biological productivity of forests in Northern Eurasia: methods, database and its applications. Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 636 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3281> (accessed 24.12.2025).
- Usoltsev V. A.* Growth and structure of phytomass of stands. Novosibirsk : Science, Siberian Publishing House, 1988. 253 p. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352> (accessed 24.12.2025).
- Usoltsev V. A., Chasovskikh V. P.* Prediction of stem radial growth in natural stands and plantations of *Pinus sylvestris* L. using crown morphometry available for terrestrial lidar scanning and taking into account the multicollinearity of the factors // Conifers of the boreal area. 2025. Vol. 43, № 5. P. 25–35. (In Russ.)
- Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Noritsin D. V.* Allometric models of single-tree biomass for forest-forming species of the Urals // Forests of Russia and economy in them. 2022. № 1. P. 4–14. (In Russ.)

- Valetov V. V. Phytomass and primary products of treeless and forest swamps. Minsk : Berezinsky Biosphere State Reserve, 1992. Part 1. 218 p. Part 2. 179 p.
- Valetov V. V., Kudin M. V., Smolyak L. P. The structure of primary production of swamp forests. Minsk : Urajay Publ., 1985. 164 p.
- Valutskiy V. I., Khramov A. A. The structure and primary productivity of ryams in southeastern Vasyugan // Theory and practice of forest swamp management and hydroforestry. Krasnoyarsk : IFW of SB of the USSR Academy of Sciences, 1976. P. 59–81. (In Russ.)
- Vompersky S. E. The role of swamps in the carbon cycle // Readings in memory of Academician V. N. Sukachev. XI: Biogeocenotic features of swamps and their rational use. Moscow : Science Publ., 1994. P. 5–37. (In Russ.)

Информация об авторах

- Ирина Владимировна Петрова – доктор биологических наук;
irina.petrova@botgard.uran.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5689-8452>
- Николай Иванович Плюха – младший научный сотрудник, аспирант;
nikcskript@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1628-3300>
- Владимир Андреевич Усольцев – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>
- Владимир Александрович Лебедев – кандидат сельскохозяйственных наук;
lebedev.uro.ran@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6690-8167>
- Наталья Сергеевна Иванова – доктор биологических наук;
i.n.s@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0845-9433>
- Андрей Дмитриевич Демин – аспирант;
andru1229@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5759-6034>
- Алеся Александровна Зорина – аспирант.
alesya.zorina44@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0000-3671-8119>

Information about the authors

- Irina V. Petrova – Doctor of Biological Sciences;
irina.petrova@botgard.uran.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5689-8452>
- Nikolay I. Plukha – Junior Researcher, postgraduate student;
nikcskript@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1628-3300>
- Vladimir A. Usoltsev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;
Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>
- Vladimir A. Lebedev – Candidate of Agricultural Sciences;
lebedev.uro.ran@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6690-8167>
- Natalya S. Ivanova – Doctor of Biological Sciences;
i.n.s@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0845-9433>
- Andrey D. Demin – postgraduate student;
andru1229@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5759-6034>
- Alesya A Zorina – postgraduate student.
alesya.zorina44@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0000-3671-8119>

Статья поступила в редакцию 29.12.2025; принята к публикации 26.01.2026.

The article was submitted 29.12.2025; accepted for publication 26.01.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 135–141.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 135–141.

Научная статья

УДК: 712.4(470.62)

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.013

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ Г. ТИХОРЕЦКА

Николай Владимирович Примаков¹, Анастасия Андреевна Акимова²,
София Николаевна Семенова³

^{1–3} Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия

¹ Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина,
Краснодар, Россия

¹ nik-primakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9225-024X>

² akimova.n03@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3339-9433>

³ sofya.semenova75@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-9198>

Аннотация. С каждым годом население России все больше перемещается в города из сельских населенных пунктов, активно растут темпы урбанизации, в связи с чем особую актуальность в наши дни приобрело создание зеленых зон для поддержания оптимального уровня здоровья человека и комфортной среды его обитания в условиях города. Целью исследования является проведение оценки состояния объектов озеленения г. Тихорецка, составление предложений по повышению привлекательности и устойчивости таких объектов. В рамках научной работы по общепринятым методикам был проведен ряд исследований, а также оценено санитарное (экологическое) состояние и бонитет древесных пород, произрастающих на территории парковых зон г. Тихорецка. Насаждения парковых зон в основном представлены сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), каштаном конским (*Aesculus hippocastanum* L.), липой мелколистной (*Tilia cordata* L.), тополем белым (*Populus alba* L.), гледичией трехколючковой (*Gleditsia triacanthos* L.), пихтой нордмана (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach), кленом остролистным (*Acer platanoides* L.) и вязом мелколистным (*Ulmus parvifolia* Jacq.). Наибольшие значения среднего диаметра характерны для тополя черного ($72 \pm 5,3$ см) в насаждениях Городского парка с составом 5Лм2Тч2Яа1Гт, а также сосны обыкновенной ($49 \pm 4,5$ см) в насаждения с составом древостоя 4Пн3Бп3Со. По средней высоте лидирует парк «Зеленая роща» (1-й участок), где в насаждениях с составом древостоя 7Ва3Ко высота вяза американского составляет $18 \pm 0,4$ м. В результате исследований установлено, что санитарное состояние древесных насаждений большинства парков оценивается третьей категорией (сильно ослабленные), бонитет на этих объектах озеленения города оценивается одинаково III классом, за исключением парка «Зеленая роща» (1-й участок), где он имеет более высокое состояние IV класса. Результаты комплексной оценки состояния насаждений объектов озеленения г. Тихорецка могут быть использованы для выработки мер по благоустройству парковых зон. При создании насаждений необходимо производить подбор древесных пород с учетом проведенных исследований. С целью формирования более устойчивых насаждений и защиты их от неблагоприятных факторов необходимо своевременно назначать санитарные рубки, рубки ухода и другие мероприятия. В целях развития рекреационного

потенциала лесопарка следует проводить мероприятия по облагораживанию территории: формирование аллей и ухоженных троп, установка лавочек, фонарей и мусорных урн.

Ключевые слова: озелененная территория, парковая зона, бонитет, санитарное состояние, зеленые насаждения

Для цитирования: Примаков Н. В., Акимова А. А., Семенова С. Н. Оценка состояния объектов озеленения г. Тихорецка // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 135–141.

Original article

ASSESSMENT OF LANDSCAPE GARDENING FACILITIES CONDITION IN THE TOWN OF TIKHORETSK

Nikolay V. Primakov¹, Anastasia A. Akimova², Sofia N. Semenova³

¹⁻³ Kuban State University, Krasnodar, Russia

¹ Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

¹ nik-primakov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9225-024X>

² akimova.n03@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3339-9433>

³ sofiya.semenova75@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3172-9198>

Abstract. Every year, Russia's population is increasingly moving from rural areas to cities, and the rate of urbanization is rapidly increasing. Therefore, the creation of green spaces to maintain optimal human health and a comfortable urban environment has become especially relevant. The aim of this research is to assess the condition of Tikhoretsk's landscape gardening facilities and develop proposals for improving their attractiveness and sustainability. This research, using generally accepted methods, included conducting a series of researches and assessing the sanitary (ecological) condition and bonitet of tree species growing in Tikhoretsk's parklands. The plantations of the park zones are mainly represented by: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* L.), white poplar (*Populus alba* L.), honey locust (*Gleditsia triacanthos* L.), Nordmann fir (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach), Norway maple (*Acer platanoides* L.) and small-leaved elm (*Ulmus parvifolia* Jacq.). The largest values of the average diameter are characteristic of the tree plantings of the City Park: black poplar ($72 \pm 5,3$ cm) with a composition of 5Лм2Тч2Яа1Гт; Scots pine ($49 \pm 4,5$ cm) with a composition of 4Пн3Бп3Со, and the leader in average height is the American elm ($18 \pm 0,4$ m) with a composition of 7Ba3Ko in the Green Grove Park 1. The research has established that the sanitary condition of tree plantations in most parks is assessed as category 3 (severely weakened), the bonitet of these city landscape gardening facilities is equally assessed as class III, with the exception of Green Grove Park 1, where it has a higher condition of class IV. The results of a comprehensive assessment of the condition of plantations of landscape gardening facilities in Tikhoretsk can be used to develop measures for the improvement of park areas. When creating plantations, it is necessary to select tree species taking into account the conducted research. In order to form more stable plantations and protect them from unfavorable factors, it is necessary to schedule sanitary cutting, cleaning cutting, and other measures in a timely manner. To develop the recreational potential of the forest park, landscaping measures should be implemented: creating alleys and well-maintained paths, installing benches, lamps, and trash bins.

Keywords: landscaped area, park area, bonitet, sanitary condition, green plantations

For citation: Primakov N. V., Akimova A. A., Semenova S. N. Assessment of landscape gardening facilities condition in the town of Tikhoretsk // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 135–141.

Introduction

Every year, more and more people from different settlements move to cities. As a result, the rate of urbanization increases very rapidly (Mullayarova, 2018; Starostina et al., 2022). Therefore, there is a special relevance to create green spaces to maintain optimal human health and a comfortable living environment in urban areas (Mitusova, Golubnichy, 2017; Principles of Forming..., 2022; Primakov, 2021). Green spaces have various functions. They help maintain a favorable microclimate, improve air quality and reduce noise pollution. They also enhance the aesthetic appeal of residential areas as well as provide recreational opportunities.

The scientific papers of S. V. Zalesov, N. V. Kaiser, Ya. A. Krekova [et al.], O. U. Tarasova, V. V. Khrapach, D. N. Sarsekova, N. V. Potemkina, M. E. Skachkova, V. S. Zazulya, and E. V. Avdeeva are devoted to the assessment of urban greening facilities condition (Mistakes..., 2024; Tarasova, 2019; Khrapach, 2021; Sarsekova, 2019; Potemkina, 2011; Skachkova, 2020; Zazulya, 2020; Avdeeva, 2019; Primakov, 2022a, б).

No study on the condition of greening facilities has been conducted in Tikhoretsk before. There is no systematized information on the phytosanitary woody vegetation condition. So, the study of urban woody phytocenoses is relevant now-a-days.

Materials and Methods

The purpose of this study is to assess the green spaces condition in Tikhoretsk and to develop various proposals for improving their attractiveness and sustainability.

The main objects of the study were 7 green areas, shown below on the satellite image of Tikhoretsk (Fig. 1), which include: 1 – Green Grove Park 1; 2 – Birch Grove; 3 – Green Grove Park 2; 4 – Park in honor of the 80th anniversary of the Krasnodar Territory; 5 – Zvyozdny Square; 6 – Men'shikov Park and 7 – City Park.

The artificial forest area of the park areas under study is mainly represented by: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.), Small-leaved linden (*Tilia cordata* L.), White poplar (*Populus alba* L.), Three-ringed gleditsia (*Gleditsia triacanthos* L.), Nordman fir (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach), Norway maple (*Acer platanoides* L.) and Small-leaved elm (*Ulmus parvifolia* Jacq.).

The study of tree plantations in green areas was carried out due to the generally accepted methodology (OST 56-69-83; Primakov, Gvozdeckaya, 2017). Typical areas were selected for establishing the test plots at each site after visual assessment conduction. The next step of our research was the measurement of



Fig. 1. Location of landscaping facilities on the satellite image of Tikhoretsk

the height and the diameter of all plantations, and the assessment of bonitet class and the sanitary category (ecological) condition.

Results and Discussion

The average values of the green spaces' characteristics are given below in the table (Table).

When analyzing Table 1, it can be seen that among the park areas of Tikhoretsk, the highest values of the average diameter are typical for tree plantations with the presence of Black poplar ($72 \pm 5,3$ cm) with a composition of 1Gt2Fa2Pn5Tc and Scots pine ($49 \pm 4,5$ cm) with a composition of 3Bp3Ps4An in the City Park (Fig. 2). The data on the best growth

rates of pine and poplar in the studied region were also confirmed by many scientific researches (Primakov, 2021; Shumkova, 2024; Mishenina, 2016). Lower diameter values are noted for Domestic apple trees ($11 \pm 1,4$ cm) with a composition of 7Tc2Pc1Md, Small-leaved linden ($22 \pm 1,3$ cm) with a composition of 6Tc4Ap in the Park in honor of the 80th anniversary of the Krasnodar Territory.

The average height of the park is "Green Grove" 1 (White poplar ($17 \pm 0,6$ m)). The lowest values of the average height of green spaces (Black pine ($6,2 \pm 0,2$ m) and Horse chestnut ($9,9 \pm 0,7$ m)) are typical for the Zvyozdny Park (Fig. 3).

Characteristics of green spaces and landscaping facilities

№	Landscaping facilities	Composition of plantings	Diameter, cm	Height, m
1	Green Grove Park 1	6Bp4Ap	$30 \pm 6,1$	$17 \pm 0,5$
		7Ua3Ap	$41 \pm 9,7$	$18 \pm 0,4$
2	Birch grove	10Ah	$28 \pm 0,9$	$12 \pm 0,9$
3	Green Grove Park 2	2Pa2Fe2Ap4Up	$67 \pm 2,3$	$17 \pm 0,6$
		2Ac2Pa2Up4Gt	$58 \pm 1,0$	$17 \pm 1,7$
4	Park in honor of the 80th anniversary of the Krasnodar Territory	7Tc2Pc1Md	$27 \pm 1,8$	$11 \pm 1,1$
		6Tc4Ap	$22 \pm 1,3$	$10 \pm 0,6$
5	Zvyozdny Square	6Pc4Pn	$24 \pm 0,8$	$6,4 \pm 0,3$
		6Ah4Pa	$50,1 \pm 1,4$	$15,6 \pm 0,7$
6	Park named after Men'shikov	10Ah	$49 \pm 6,4$	$17 \pm 0,3$
7	City Park	1Gt2Fa2Pn5Tc	$72 \pm 5,3$	$16,5 \pm 0,4$
		3Bp3Ps4An	$49 \pm 4,5$	$14 \pm 2,4$



Fig. 2. The general view of the City Park in Tikhoretsk



Fig. 3. The general view of the Zvyozdny Square in Tikhoretsk

The assessment of tree plantations of landscaping objects was carried out not only on such taxation features as average height and diameter, but as well as on the bonitet class. The data obtained during the study for each territory were averaged and presented in the form of a diagram (Fig. 4).

In accordance to the data presented in the diagram (Fig. 4), it can be concluded that the bonitet at all greening sites in the city is rated at the same III class, with the exception of Green Grove Park 1, where it has a higher IV class, which is reflected in the

reduced condition of the stand and the commercial value of the wood.

The results of assessing the sanitary (environmental) condition of the tree plantations at each landscaping site in the city of Tikhoretsk are also averaged and presented in the form of the following diagram (Fig. 5).

Due to the data presented in the diagram (Fig. 5), it can be seen that the sanitary condition is rated as category 3 (severely weakened) at all sites, with the exception of the Green Grove 1 park and the Park

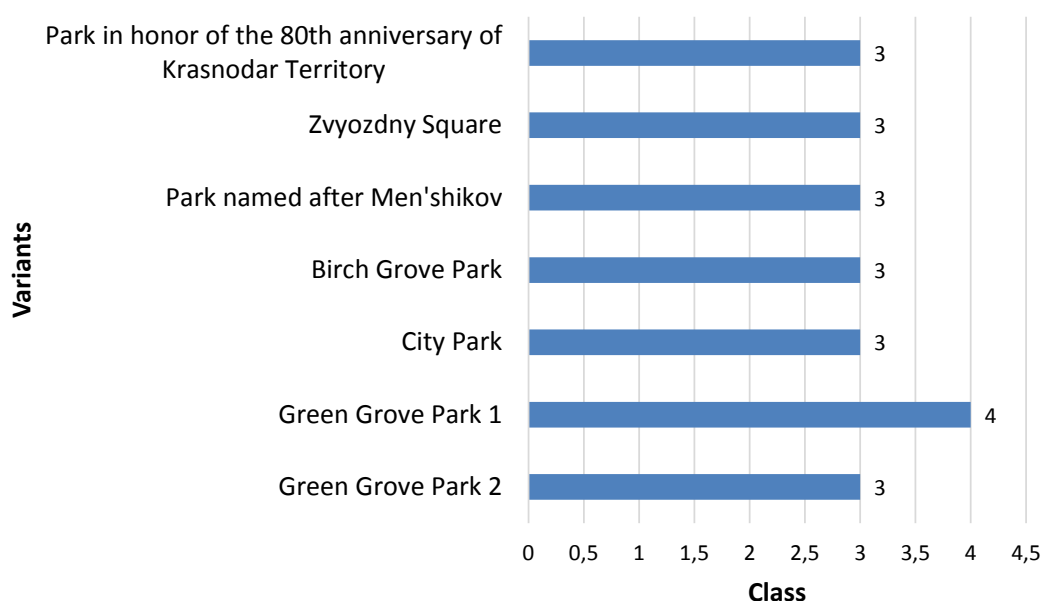


Fig. 4. The dependence of the bonitet class on the landscaping facility

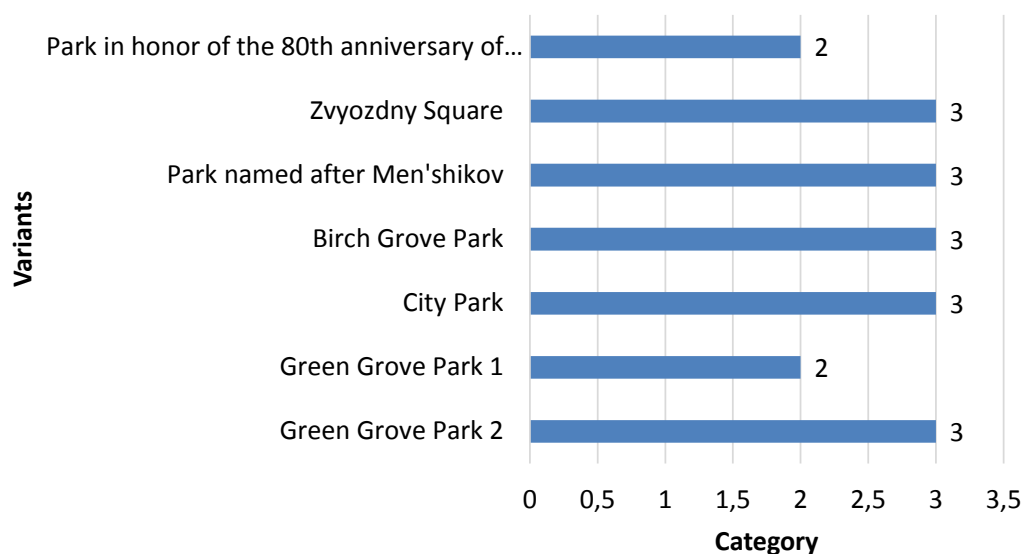


Fig. 5. The dependence of the sanitary (ecological) condition of plantations on the landscaping facility

in honor of the 80th anniversary of the Krasnodar Territory, where it is rated as category 2 (“weakened”). Thus, after assessing the condition of the landscaped areas, we can conclude that most of the park areas located within the city of Tikhoretsk are in satisfactory condition, with the exception of the park “Green Grove” 1, the condition of tree plantations of which can be assessed as “weakened” (category 2). The object is also characterized by the highest average values of height American elm ($18 \pm 0,4$ m), average diameter of plantations – $41 \pm 9,7$ cm, composition 7Ua3Ap.

Conclusions

The data obtained as part of the comprehensive study can be used to develop measures for the improvement of park areas in Tikhoretsk. It is necessary to regularly carry out sanitary and maintenance felling in order to create more sustainable plantations and protect them from adverse factors (Primakov, 2022a). In order to develop the recreational potential of the forest park, it is also possible to carry out measures for the improvement of the territories, for example, to create convenient and beautiful alleys with well-maintained paths; to install comfortable benches, lanterns and garbage cans.

References

- Avdeeva E. V. Assessment of the Quality of a Special Purpose Landscaping Object (on the Example of the Primagistral Territory of May 9 Street in the City of Krasnoyarsk) // Coniferous Boreal Zones. 2019. № 1. P. 7–16. URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=65677904> (accessed 29.10.2025).
- Khrapach V. V. Aesthetic Assessment of the Ecological and Cenotic Complex of the Stavropol Botanical Garden // Agricultural Journal. 2021. № 2. P. 51–59. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46242444> (accessed 29.10.2025).
- Mishenina M. P. The Growth of the Black poplar (*Populus nigra* L.) in the Landscaping of Main Streets, as Exemplified by the City of Shakhty in the Rostov Region // International Student Scientific Bulletin. 2016. № 4-3. P. 381–383.
- Mistakes in landscaping northers settlements / S. V. Zalesov, N. V. Kaiser, Ya. A. Krekova [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 4 (91). P. 30–37.
- Mitusova N. A., Golubnichy A. A. Landscaping of Urban Areas. Problems and Solutions // Modern Scientific Research and Innovations. 2017. № 1. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/01/77684> (accessed 02.12.2025).
- Mullayarova P. I. Geoecological Assessment and Mapping of the State of Greened Areas for Special Purposes // Bulletin SSUGiT. 2018. № 4. P. 262–274.
- OST 56-69–83. Trial Area Forest Management. Storage Method. Moscow, 1983. 60 p.
- Potemkina N. V. Comprehensive Assessment of the Central Park Territory in the City // Ecosystems, Their Optimization, and Protection. 2011. № 4. P. 174–182. URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=25410383> (accessed 29.10.2025).
- Primakov N. V. Prospects for the Use of Woody and Shrubby Plants in the Landscaping of the City of Krasnodar // News of HEI. Forestry journal 2022a. № 1 (385). P. 98–109.
- Primakov N. V. Quality Management of the State of Urban and Settled Areas Greening Facilities // Polythematic Network Electronic Journal of the Kuban State Agrarian University. 2022b. № 176. P. 181–190.
- Primakov N. V. State and Prospects of Landscaping Facilities in Krasnodar. Krasnodar : Kuban State University Publ. House, 2021. 171 p.
- Primakov N. V., Gvozdeckaya S. V. Methodology of Conducting Educational Practices in Forest Phytocenoses // Theory and Methodology of Conducting Practices in Geographical Disciplines : Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnodar, 2017. P. 17–21.
- Principles of Forming an Approach to Landscaping in Yekaterinburg / L. A. Bannikova, A. V. Khrichenkov, A. G. Burtsev [et al.] // Forestry Bulletin. 2022. № 6. P. 106–113.

- Sarsekova D. N.* Landscape and Ecological Assessment of the Shakhmatisty Square in Nur-Sultan // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2019. № 30. P. 8–13.
- Shumkova O. A.* To the Study of the Protected Species of the Pitsunda Pine Urban Ecosystem of the Resort Town of Gelendzhik on the Krasnodar Territory // Kurazhskovskie Readings : Materials of the III International Scientific and Practical Conference. Astrakhan, 2024. P. 178–182.
- Skachkova M. E.* Assessment of the Comfort Level of Landscaping Objects in Urbanized Areas // Bulletin SSUGT. 2020. № 2. P. 244–258. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43846252> (accessed 29.10.2025).
- Starostina A. A., Gavrilieva N. K., Andreeva N. V.* The Role of Reconstruction of Greened and Landscaped Areas in Forming a Green Framework for Urban Territories // Moscow Economic Journal. 2022. № 11. P. 524–539.
- Tarasova O. Yu.* Ecological, Aesthetic, and Recreational Assessment of Recreational Facilities (on the Example of Saransk) // Modern Problems of Territorial Development. 2019. № 1. P. 1–11.
- Zazulya V. S.* Environmental Comfort and Public Spaces // Urbanistics. 2020. № 3. P. 75–90. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34941769> (accessed 29.10.2025).

Информация об авторах

Н. В. Примаков – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
А. А. Акимова – магистрант;
С. Н. Семенова – кандидат филологических наук, доцент.

Information about the authors

N. V. Primakov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;
A. A. Akimova – graduate student;
S. N. Semenova – Candidate of Philological Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 09.12.2026; принята к публикации 30.03.2026.
The article was submitted 09.12.2026; accepted for publication 30.03.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 142–147.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 142–147.

Научная статья

УДК 665.939.57

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОИОНИЗАЦИИ НА ОТВЕРЖДЕНИЕ КЛЕЯ ПРИ СКЛЕИВАНИИ МАССИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Кирилл Васильевич Носоновских¹, Максим Владимирович Газеев²,
Алексей Владиславович Свиридов³, Руслан Михайлович Маслак⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

² gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

³ sviridovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4869-5855>

⁴ r89089190134@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2707-3300>

Аннотация. Клееная древесина получила широкое распространение в современной деревообрабатывающей промышленности. Но операция склеивания требует значительных затрат времени на отверждение клея. Для интенсификации данного процесса чаще всего применяют различные виды нагрева, которые являются энергозатратными. В связи с этим разработка новых энергоэффективных способов интенсификации склеивания является актуальной. Один из таких способов – воздействие аэроионизацией. В работе рассматривается влияние воздействия аэроионизацией на процесс склеивания массивной древесины ПВА-клеем. Анализ данного процесса проводился при помощи ИК-Фурье-спектроскопии методом Attenuated Total Reflection (ATR). Цель работы – исследование химического состава клея на основе поливинилацетата (ПВА), а также изменений состава отвержденного клеевого слоя при склеивании массивной древесины под воздействием аэроионизации. Полученные результаты позволяют утверждать, что воздействие аэроионизацией на клеевое соединение не оказывает воздействия на химизм отверждения ПВА-клея, но способствует процессу дегидратации и уплотнению кристаллической структуры полимера, что, в свою очередь, сокращает затраты времени на отверждение клеевого слоя и повышает прочностные характеристики клеевого соединения.

Ключевые слова: клееная древесина, клей, аэроионизация, интенсификация склеивания, ИК-Фурье-спектроскопия

Для цитирования: Исследование влияния аэроионизации на отверждение клея при склеивании массивной древесины / К. В. Носоновских, М. В. Газеев, А. В. Свиридов, Р. М. Маслак // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 142–147.

Original article

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF AEROIONIZATION ON ADHESIVE CURING WHEN GLUING SOLID WOOD

Kirill V. Nosonovskikh¹, Maxim V. Gazeev², Alexey V. Sviridov³, Ruslan M. Maslak⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

² gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

³ sviridovav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4869-5855>

⁴ r89089190134@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2707-3300>

Abstract. Glued laminated wood has become widespread in the modern woodworking industry. But the gluing operation requires a significant amount of time to cure the adhesive. To intensify this process, various types of heating are most often used, which are energy-consuming. In this regard, the development of new energy-efficient ways to intensify gluing is relevant. One of these methods is the effect of aeroionization. The paper considers the influence of aeroionization on the process of gluing solid wood with PVA glue. The analysis of this process was carried out using IR-Fourier spectroscopy using the Attenuated Total Reflection (ATR) method. The purpose of the work is to research the chemical composition of polyvinyl acetate (PVA)-based adhesives, as well as changes in the composition of the cured adhesive layer when gluing solid wood, under the influence of aeroionization. The results obtained suggest that the effect of aeroionization on the adhesive joint does not affect the curing chemistry of the PVA glue. But it promotes the process of dehydration and densification of the crystalline structure of the polymer. This, in turn, reduces the time spent on curing the adhesive layer and increases the strength characteristics of the adhesive joint.

Keywords: glued laminated wood, glue, aeroionization, gluing intensification, IR-Fourier spectroscopy

For citation: Investigation of the influence of aeroionization on adhesive curing when gluing solid wood / K. V. Nosonovskikh, M. V. Gazeev, A. V. Sviridov, R. M. Maslak // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 142–147.

Введение

Клееная массивная древесина играет важную роль в современной деревообрабатывающей промышленности при производстве изделий из нее. Она широко применяется при производстве мебели, строительных и столярных конструкций, музыкальных инструментов и других изделий. Склеивание массивной древесины позволяет не только получать детали требуемых размеров и форм, но и эффективно использовать короткомерные заготовки и отходы производства, повышая общий выход полезной продукции.

Однако с точки зрения длительности выполнения технологической операции при изготовлении изделий из древесины операция склеивания из

всей технологической цепочки требует больших затрат времени на отверждение клеевого слоя, и потому нередко производительность всего производства определяется производительностью участка склеивания (Волынский, 2003).

В связи с этим исследования, направленные на сокращение времени отверждения клеевого соединения и повышение показателей его физико-механических свойств, являются актуальными.

Обычно для интенсификации склеивания производители применяют различные методы нагрева, такие как конвективный, контактный, инфракрасный и др. Но такие методы, как правило, являются весьма энергозатратными (Исаев и др., 2020).

На кафедре механической обработки древесины (МОД) Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) ведутся исследования по разработке энергоэффективного метода интенсификации процесса склеивания массивной древесины. Одним из таких методов является воздействие аэроионизацией (Nosonovskikh, Gazeev, 2022).

Цель и методика исследования

Цель работы – исследование химического состава клея на основе поливинилацетата (ПВА), а также изменений состава отвержденного клеевого слоя при склеивании массивной древесины под воздействием аэроионизации.

Для определения химического состава клея и отвержденного клеевого шва проводилась инфракрасная (ИК) спектроскопия. Для спектрального анализа были склеены образцы из древесины березы клеем Kleiberit 303.2 на основе ПВА-дисперсии.

Расход клея при нанесении на поверхность древесины измерялся весовым способом на электронных весах ACOM JW-1C и составил 125–135 г/м².

В качестве образцов для склеивания использовали строганные бруски из древесины березы сечением 30×30 мм длиной 300 мм. Влажность образцов определялась при помощи влагомера CONDROL Hydro Easy № 14056 и составила $W = 8 \dots 10\%$.

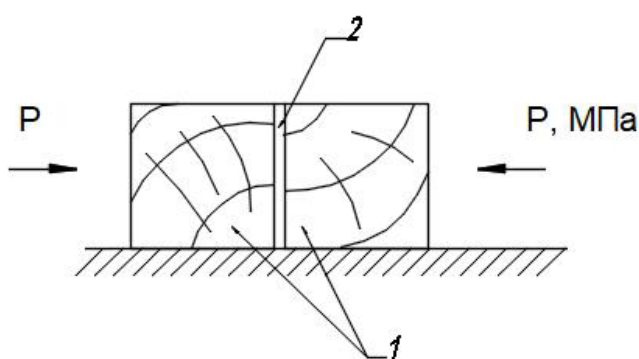


Рис. 1. Схема склеивания ламелей:
1 – буковые ламели; 2 – клеевой слой
Fig. 1. Slats gluing scheme:
1 – beech woodslats; 2 – adhesive layer

Технологический процесс склеивания ламелей массивной древесины состоит из следующих операций:

- определение влажности древесины (8–9 %) и воздуха (60–65 %) при помощи влагомера;
- очистка поверхности сухой щеткой (обдув воздухом);
- нанесение клея на склеиваемые поверхности (осуществляется кистью);
- склеивание заготовок осуществлялось при давлении $\approx 0,4$ МПа в винтовой вайме (схема прессования заготовок приведена на рис. 1), над которой размещен электроэффлювиальный ионизатор, время воздействия аэроионизацией – 18/32 мин (в зависимости от режима);
- технологическая выдержка с воздействием аэроионизацией – 120 мин, под воздействием аэроионизации – 0/60 мин (в зависимости от режима).

Для активации клеевого состава на подложке перед склеиванием использовалось электроэффлювиальное аэроионизационное устройство (ЭЭАУ), показанное на рис. 2.

Воздействие аэроионизацией происходило в двух режимах: 1) 32 мин на этапе прессования и 60 мин на этапе технологической выдержки; 2) 18 мин на этапе прессования. Также был склеен контрольный образец без воздействия аэроионизации.

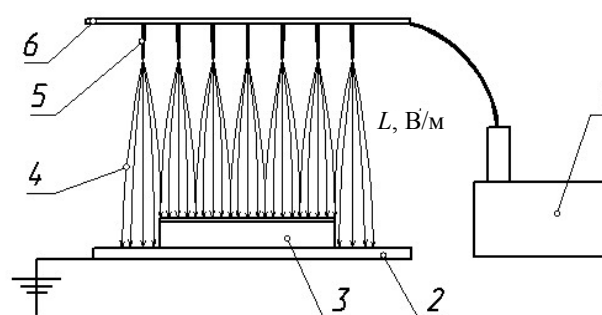


Рис. 2. Аэроионизационное электроэффлювиальное устройство:
1 – высоковольтный блок; 2 – основание; 3 – ламель с нанесенным слоем клея; 4 – линии силового электрического поля, формируемые электродами; 5 – электроды излучателя; 6 – электроэффлювиальный излучатель
Fig. 2. Aerionization electro effluvial setting:
1 – high-voltage block; 2 – base; 3 – slat with applied adhesive layer; 4 – electric field lines formed by electrodes; 5 – emitter electrodes; 6 – electroeffluvial emitter

После склеивания заготовок их распиливали до клеевого слоя, после чего производился тонкий срез отвержденной клеевой пленки и помещался в спектрометр.

ИК-спектроскопия проводилась методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), или Attenuated Total Reflection. Суть метода заключается в пропускании излучения через кристалл с высоким показателем преломления. Данный метод лучше всего подходит для пленок.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследований получены следующие спектры для образцов, склеенных по режиму 18 мин (рис. 3) и по режиму 32 мин + 60 мин (рис. 4).

Основные полосы поглощения, определенные в исследованных образцах, следующие:

1) полоса колебаний алифатических групп $-\text{CH}_2-$ – 2940, 2925 cm^{-1} (пик № 2);

2) полоса на частоте 1736 cm^{-1} (пик № 3) соответствует колебанию карбонильной группы $-\text{CH}_2-\text{CHO}$ (Тарасевич, 2012);

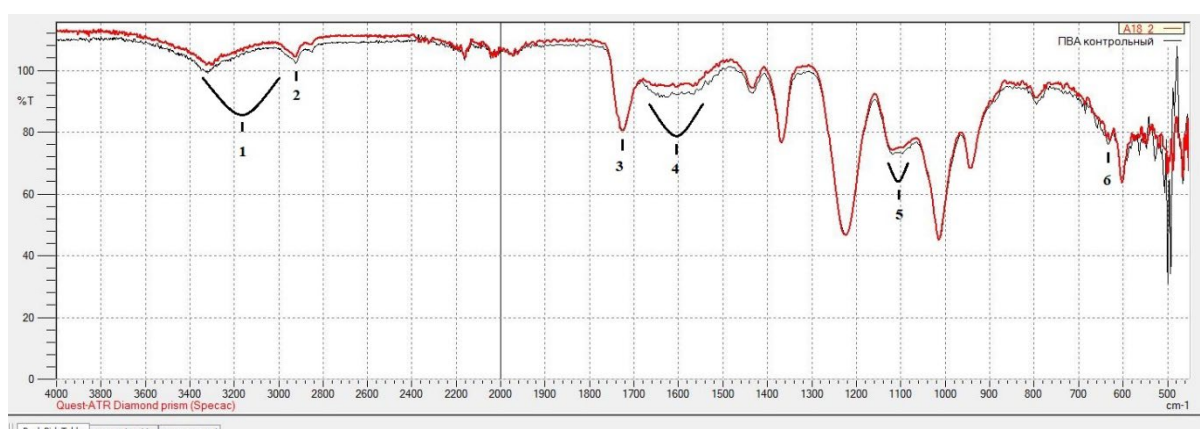


Рис. 3. Спектры ПВА-клея:

ПВА контрольный – образец, отверждавшийся без воздействия аэроионизации;
A18 – образец, отверждавшийся с воздействием аэроионизации в течение 18 мин

Fig. 3. Spectra of PVA glue:

PVA reference value – a sample cured without exposure to aeroionization;
A18 – a sample cured with exposure to aeroionization for 18 minutes

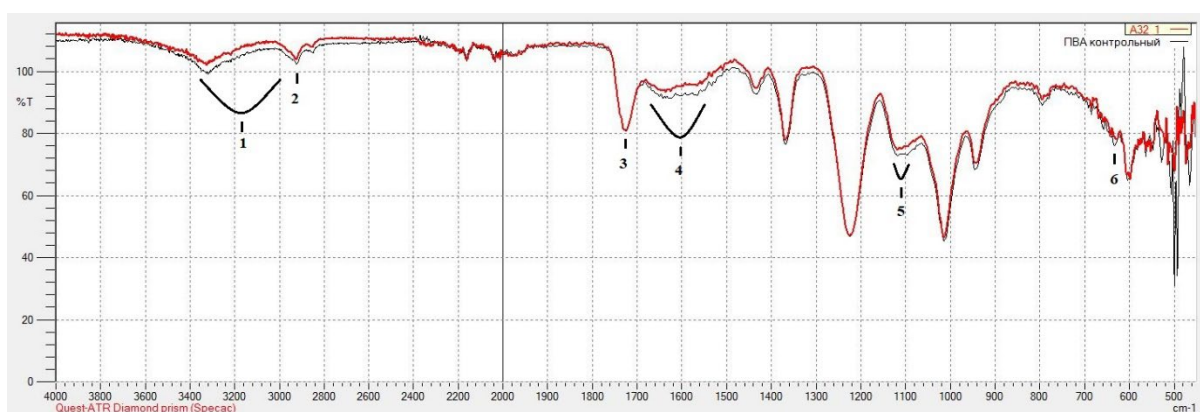


Рис. 4. Спектры ПВА-клея:

ПВА контрольный – образец, отверждавшийся без воздействия аэроионизации;
A32 – образец отверждавшийся с воздействием аэроионизации в течение 32 мин

Fig. 4. Spectra of PVA glue:

PVA reference value – a sample cured without exposure to aeroionization;
A32 – a sample cured with exposure to aeroionization for 32 minutes

3) область от 1700 до 500 см^{-1} состоит из колебаний растяжения C-O групп, колебаний изгиба и скручивания -CH_2 групп, колебаний растяжения полимерной цепи (Носенко и др., 2021).

По результатам эксперимента можно сказать, что воздействие аэроионизацией не оказывает влияния на процесс отверждения клеевого соединения с химической точки зрения, так как образования новых химических соединений спектроскопия не показала.

Тем не менее наблюдаемое снижение интенсивности пиков в диапазоне частот 3360–3000 см^{-1} , 1660–1550 см^{-1} и пика на частоте 640 см^{-1} (пики № 1, 4 и 6 на рис. 3 и 4), вероятно, свидетельствует об уменьшении содержания воды в структуре ПВА-клея. Процесс дегидратации способствует сокращению времени отверждения клеевого соединения на ПВА-основе.

Увеличение интенсивности поглощения в диапазоне частот 1140–1090 см^{-1} (пик № 5 на рис. 3 и 4) может свидетельствовать об изменении степени кристалличности образующегося полимерного клеевого слоя, что, в свою очередь, положительно скажется на физико-механических свойствах клеевого соединения.

Полученные результаты подтверждаются работами других исследователей. Так, Р. Я. Казберов в своей работе «Поливиниловый спирт и влияние различных видов облучения на его свойства» под воздействием нагрева ПВА-пленки также наблюдал процесс дегидратации, который обуславливал снижение пиков спектров в тех же частотах (Казберов, 2022).

Умме Хабиба Хоссейн, Тим Зайдль и Вольфганг Энсингер в своей работе тоже отмечали схожее поведение поливинилацетатов под воздействием облучения ионами Au (Hossain et. al., 2014).

Следовательно, полученные в результате исследования данные можно считать достоверными.

Выводы

В ходе анализа ИК-спектров ПВА-клея, отвержденного под воздействием аэроионизации и без нее, были определены следующие особенности.

1. Процесс аэроионизации не оказывает существенного влияния на химизм процесса полимеризации основных компонентов ПВА-клея, так как пики поглощения для исследуемых образцов проявляются на одних и тех же частотах (ИК-спектры с воздействием аэроионизации и без воздействия практически идентичны друг другу).

2. Основным отличием в ИК-спектрах исследуемых образцов является изменение интенсивности поглощения в диапазонах частот, показывающих содержание воды в поверхностной пленке отвержденного клея на основе ПВА-дисперсии. Снижение интенсивности поглощения в данных диапазонах частот для образцов, подвергшихся аэроионизационному воздействию, указывает на интенсификацию процесса дегидратации и удаления связанной влаги из поверхностной структуры пленки клея на основе ПВА-дисперсии во время аэроионизации.

3. Удаление воды из поверхностных слоев пленок клея во время аэроионизации также сказывается на степени кристалличности отвержденного материала.

Список источников

- Волынский В. Н. Технология клеевых материалов. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск : Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. 280 с.
- Исаев С. П., Еренков О. Ю. Совершенствование технологии производства древесных клеевых материалов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 2. С. 43–46.
- Казберов Р. Я. Поливиниловый спирт и влияние различных видов облучения на его свойства // Современные тенденции и проблемы современной радиохимии и фармацевтики в работе научно-образовательных центров. М. : Граница, 2022. С. 271–286.
- Носенко Т. Н., Ситникова В. Е., Стрельникова И. Е. Практикум по колебательной спектроскопии. СПб. : Ун-т ИТМО, 2021. 173 с.

- Тарасевич Б. Н.* ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012. 55 с.
- Hossain U. H., Seidl T., Ensinger W.* Combined in situ infrared and mass spectrometric analysis of high-energy heavy ion induced degradation of polyvinyl polymers // *Polymer Chemistry*. 2014. Issue 3. P. 1001–1012.
- Nosonovskikh K. V., Gazeev M. V.* Improving the technology of gluing solid wood due to the impact of negative air ions // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 949. 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012067

References

- Hossain U. H., Seidl T., Ensinger W.* Combined in situ infrared and mass spectrometric analysis of high-energy heavy ion induced degradation of polyvinyl polymers // *Polymer Chemistry*. 2014. Issue 3. P. 1001–1012.
- Isaev S. P., Erenkov O. Yu.* Improving the Technology of Glued Wood Materials Production // *Repair. Restoration. Modernization*. 2020. № 2. P. 43–46. (In Russ.)
- Kazberov R. Ya.* Polyvinyl Alcohol and the Effect of Various Types of Irradiation on Its Properties // *Current Trends and Problems of Modern Radiochemistry and Pharmaceuticals in the Work of Research and Education Centers*. Moscow : Publishing house “Boundary”, 2022. P. 271–286. (In Russ.)
- Nosenko T. N., Sitnikova V. E., Strelnikova I. E.* *Vibrational Spectroscopy Workshop : Study guide*. St. Petersburg : ITMO University, 2021. 173 p.
- Nosonovskikh K. V., Gazeev M. V.* Improving the technology of gluing solid wood due to the impact of negative air ions // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 949. 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012067
- Tarasevich B. N.* *IR Spectra of the Main Classes of Organic Compounds. Reference Materials*. Moscow : Lomonosov Moscow State University, 2012. 55 p.
- Volynsky V. N.* *Technology of Glued Materials*. 2nd edition, revised and supplemented. Arkhangelsk : Publishing House of Arkhangelsk State Technical University, 2003. 280 p.

Информация об авторах

К. В. Носоновских – ассистент;
М. В. Газеев – доктор технических наук, доцент;
А. В. Свиридов – кандидат технических наук, доцент;
Р. М. Маслак – аспирант.

Information about the authors

K. V. Nosonovskikh – Assistant;
M. V. Gazeev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
A. V. Sviridov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
R. M. Maslak – graduate student.

Статья поступила в редакцию 20.05.2026; принята к публикации 26.07.2026.
The article was submitted 20.05.2026; accepted for publication 26.07.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98) С. 148–162.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98) P. 148–162.

Научная статья

УДК 678.81 + 543.422.3

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.015

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФРАГМЕНТОВ ЛИГНИНА Н-ТИПА С РАЗЛИЧНЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ

А. В. Артемов¹, В. Г. Бурындин², А. С. Ершова³, А. Е. Шкуро⁴,
С. Н. Пазникова⁵

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

⁵ Уральский государственный институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Артём Вячеславович Артёмов,
artemovav@m.usfeu.ru

Аннотация. В работе изучены структурные особенности модельных фрагментов лигнина Н-типа (МФЛ) в составе лигноуглеводного комплекса (ЛУК) с применением методов квантово-химического моделирования на основе теории функционала плотности (DFT). Объектом исследования выступили МФЛ с двумя типами заместителей: алкил-арильный (Alk–Ar) и арил-арильный (Ar–Ar), а также лигноцеллюлозный пластик без синтетических связующих (ПБС) на основе травянистого растения. Для подготовки структур МФЛ использовалась программа Open Babel, расчеты электронной структуры и частот колебаний выполнялись в пакете ORCA 6.0.0 (уровень теории DFT PBE0/def2-TZVP) с применением суперкомпьютера «Уран» ИММ УрО РАН. Проведена комплексная интерпретация и сравнительный анализ теоретических ИК-спектров МФЛ и экспериментальных ИК-спектров лигнина травянистого растения (на примере камнеломки супротивнолистной) и ПБС (на основе биомассы борщевика Сосновского), полученных методом ИК-Фурье-спектроскопии. Установлено, что теоретические спектры адекватно воспроизводят ключевые структурные особенности природного лигнина травянистого происхождения: основные пики совпадают по положению и относительной интенсивности. Наибольшую степень сходства с ИК-спектром ПБС демонстрирует МФЛ типа Ar–Ar, что позволяет предположить его преобладающее участие в формировании данного материала. Выявлены изменения функциональных групп (ОН, С=О, С–О и др.) при преобразовании исходного природного лигнина в процессе получения ПБС, указывающие на протекание реакций дегидратации, окислительной деструкции и конденсации. Результаты подтверждают применимость DFT-моделирования для анализа структурных звеньев лигнина Н-типа и идентификации его в составе ЛУК травянистого сырья.

Ключевые слова: лигнин, лигнин Н-типа, квантово-химическое моделирование, теория функционала плотности (DFT), ИК-спектроскопия, композиционные материалы, лигноцеллюлозный пластик без связующего

Для цитирования: Квантово-химические исследования структуры и свойств фрагментов лигнина Н-типа с различными заместителями / А. В. Артёмов, В. Г. Бурындин, А. С. Ершова [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 148–162.

Original article

QUANTUM-CHEMICAL STUDIES OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF H-TYPE LIGNIN FRAGMENTS WITH VARIOUS TYPES OF SUBSTITUENTS

Artyom V. Artyomov¹, Viktor G. Buryndin², Anna S. Ershova³,
Alexey E. Shkuro⁴, Svetlana N. Paznikova⁵

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

⁵ Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Artyom V. Artyomov,
artemovav@m.usfeu.ru

Abstract. In this work, the structural features of H-type lignin model fragments (MLF) within the lignocellulosic complex (LCC) were studied using quantum-chemical modeling methods based on density functional theory (DFT). The research objects were MLFs with two types of substituents: alkyl aryl (Alk–Ar) and aryl aryl (Ar–Ar), as well as lignocellulosic plastic without resins (LPWR) derived from herbaceous plant biomass. The MLF structures were prepared using the Open Babel software, and calculations of the electronic structure and vibrational frequencies were performed in the ORCA 6.0.0 package (at the DFT PBE0/def2-TZVP theory level) using the “Uran” supercomputer of the Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IMM UB RAS). A comprehensive interpretation and comparative analysis were carried out of the theoretical IR spectra of the MLFs and the experimental IR spectra of herbaceous lignin (using saxifrage *Saxifraga oppositifolia* L. as an example) and LPWS (based on *Heracléum sosnóvskyi* hogweed biomass), obtained by Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy. It was found that the theoretical spectra adequately reproduce the key structural features of natural herbaceous lignin: the main peaks coincide in position and relative intensity. The Ar–Ar type MLF shows the highest degree of similarity to the IR spectrum of LPWS, suggesting its predominant involvement in the formation of this material. Changes in functional groups (OH, C=O, C–O, etc.) during the transformation of native lignin in the process of LPWS production were identified, indicating the occurrence of dehydration, oxidative degradation, and condensation reactions. The results confirm the applicability of DFT modeling for analyzing the structural units of H-type lignin and for its identification within lignocellulosic complexes of herbaceous feedstock.

Keywords: lignin, H-type lignin, quantum chemical modeling, density functional theory (DFT), IR spectroscopy, composite materials, lignocellulosic plastic, binderless

For citation: Quantum-chemical studies of the structure and properties of H-type lignin fragments with various types of substituents / A. V. Artyomov, V. G. Buryndin, A. S. Ershova [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 148–162.

Введение

Исследования природного лигнина и продуктов на его основе в области вычислительной квантовой химии посвящены изучению структуры, свойств и процессов, происходящих в этом биополимере, путем моделирования и расчета на атомно-молеку-

лярном уровне (Proposed supramolecular..., 2012; Mechanical and Morphological Properties..., 2020; Molecular understanding..., 2023).

Помимо изучения структуры лигнинов с помощью теории функционала плотности (DFT), изучаются также и механизмы реакций лигнинов

(Sánchez-González et al., 2017; Oxidative Catalytic Fractionation..., 2021; Beheshti et al., 2023).

Основные направления таких исследований включают изучение структуры и свойств молекул лигнина, начальные стадии полимеризации, химические реакции деградации и модификации. Вычислительная химия моделирует образование свободных радикалов и конформационные изменения. Метод DFT используется для анализа энергетических профилей реакций и предсказания стабильности промежуточных соединений. Моделируются химические превращения под действием кислот, щелочей, окислителей и восстановителей, исследуются катализируемые ферменты преобразования лигнина.

Например (Theoretical study..., 2024), для трех модельных соединений лигнина с помощью DFT был предложен более полный механизм окисления по реакции Дакина на атомном и молекулярном уровнях, который дополняет ранее описанный процесс реакции. Была проведена оценка влияния заместителей на энергетический барьер реакции Дакина в модельных соединениях лигнина. Расчетные результаты показали, что реакция перегруппировки хиноновой структуры в первую очередь включает в себя образование и раскрытие кольца эпоксидной группой, образование кольца на О и С бензольного кольца и раскрытие кольца на С и С бензольного кольца. Энергетические барьеры реакции Дакина снижаются с увеличением количества метоксигрупп в модельных соединениях лигнина.

Именно п-кумариловый, конифериловый и синапиловый спирты участвуют в образовании лигнина, но точное понимание механизмов взаимодействия между ними пока еще недостаточно изучено.

Для исследования этих процессов были выполнены компьютерные расчеты электронной структуры, а также химической активности отдельных структурных единиц лигнина – немодифицированных одиночных и двойных соединений (моно- и дилигнолов), а также подвергнутых дегидратации единичных соединений (дегидрированных монолигнолов) (Maia et al., 2019; β -O-4 Dimerization..., 2022).

В последние годы были разработаны различные методы переработки древесины и сельскохозяйственных отходов в композитные изделия, основанные на извлечении и активации природного лигнина из лигноцеллюлозного сырья, который может служить связующим веществом (Tajuddin et al., 2016).

Современные исследования процессов получения лигноцеллюлозных пластиков без синтетических связующих (ПБС) показывают особую значимость лигнина, являющегося естественным связующим в составе растительного сырья (An Investigation..., 2023).

Во время гидротермической обработки растительного сырья и при его горячем прессовании происходят существенные изменения в лигно-углеводном комплексе (ЛУК) исходного лигноцеллюлозосодержащего сырья (Зиятдинова и др., 2011; Болтовский, 2021).

В ходе исследования с помощью инфракрасных спектров с преобразованием Фурье (FTIR) было обнаружено, что в процессе горячего прессования травянистого растительного сырья происходят разложение лигнина и гемицеллюлозы, а также реакция конденсации лигнина, играющая ключевую роль в механизме образования материала. Терморазмягчение лигнина существенно влияет на свойства получаемого материала (Okuda et al., 2006).

Определение структуры и химического состава лигнинов различного растительного происхождения важно главным образом для понимания распределения активных гидроксильных групп (алифатических и фенольных, включая гваяцил-, сирингил- и п-гидроксифенильные формы). Глубокое знание функционального состава лигнина обеспечивает эффективное использование в переработке лигноцеллюлозного сырья (Сыпалова и др., 2023; Borcsok, Pasztory, 2021).

Гидроксифенольные единицы растительного лигнина (фрагменты лигнина Н-типа) являются одними из структурных единиц природного полимерного комплекса лигнина. Лигнин Н-типа, обладающий свободной фенольной гидроксильной группой, преимущественно встречается в лигнинах травянистых растений (реже – в хвойных

породах деревьев) и отличается повышенной реакционной способностью, гидрофильностью, а также легкой подверженностью гидролизу и окислению. Благодаря наличию свободной фенольной группы Н-фрагменты легко вступают в реакции конденсации, окисления, восстановления и формируют поперечные сшивки с другими единицами лигнина (Кожевников и др., 2023).

Понимание особенностей строения и функционального поведения Н-фрагментов природного лигнина важно для развития технологий по переработке возобновляемых лигноцеллюлозосодержащих ресурсов для получения ПБС.

Цель, объекты и методика исследований

Целью настоящего исследования являлось изучение структурных особенностей модельных фрагментов лигнина Н-типа (МФЛ) в составе лигноуглеводных комплексов (ЛУК) травянистых растений с применением метода квантово-химического моделирования на основе теории DFT.

Задачи данного исследования включали:

- 1) расчет и интерпретацию теоретических ИК-спектров МФЛ с заместителями типов Alk–Ar и Ar–Ar;
- 2) сравнительный анализ теоретических спектров с экспериментальными ИК-спектрами травянистого лигнина и ПБС на основе биомассы травянистого растения;
- 3) выявление основных спектроскопических признаков структурных изменений и установление вклада каждого типа МФЛ в формирование структуры ПБС.

Квантово-химический анализ фрагментов лигнина Н-типа в составе ЛУК, выполненный на основе теории DFT, был проведен для более сложной и разветвленной структуры по сравнению с монолигнолами для структурных звеньев лигнина Н-типа с различными заместителями (алкильными и/или ароматическими) (рис. 1).

Структуры модельных фрагментов лигнина Н-типа (МФЛ) различными типами заместителей: алкил-арил (Alk–Ar) и арил-арил (Ar–Ar) подготавливались с помощью программы Open Babel (2011).

Расчеты электронной структуры и частот колебаний МФЛ Н-типа выполнялись в пакете ORCA 6.0.0 на уровне теории DFT PBE0/def2-TZVP (Efficient, approximate..., 2009; Neese, 2022, 2023). При проведении работ был использован суперкомпьютер «Уран» ИММ УрО РАН.

Графический анализ информации и отображение полученных данных было выполнено с использованием пакета Origin Viewer (Seifert, 2014).

Структура ПБС была изучена методом ИК-спектроскопии. В качестве травянистого сырья использовалась биомасса борщевика. Получение ПБС принималось по ранее установленным оптимальным условиям (Борщевик Сосновского..., 2020).

Полученные образцы ПБС подвергались измельчению до состояния пыли и просеивались через сито с диаметром отверстий 0,125 мм. ИК-Фурье регистрировались на ИК-спектрометре Bruker Alpha (Германия) FTIR с помощью приставки однократного нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с алмазной призмой. Условия записи спектров: диапазон – от 4000 до 500 см⁻¹; разрешение – 4 см⁻¹; параллельные сканирования образца – 128.

Результаты и их обсуждение

Оптимизация молекулярной геометрии МФЛ показана с помощью схемы нумерации на рис. 2.

Геометрические параметры оптимизированных МФЛ приведены в табл. 1 (обозначения атомов указаны на рис. 2).

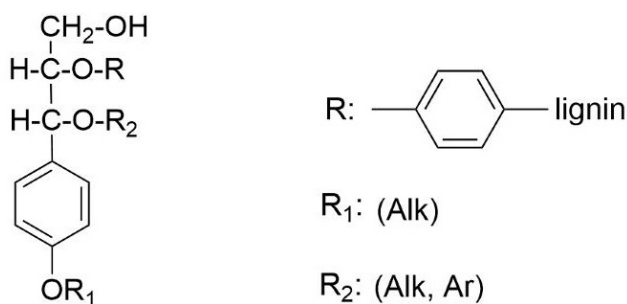


Рис. 1. Структурные фрагменты молекулы лигнина Н-типа с различными типами заместителей
Fig. 1. Structural fragments of H-type lignin molecules with different types of substituents

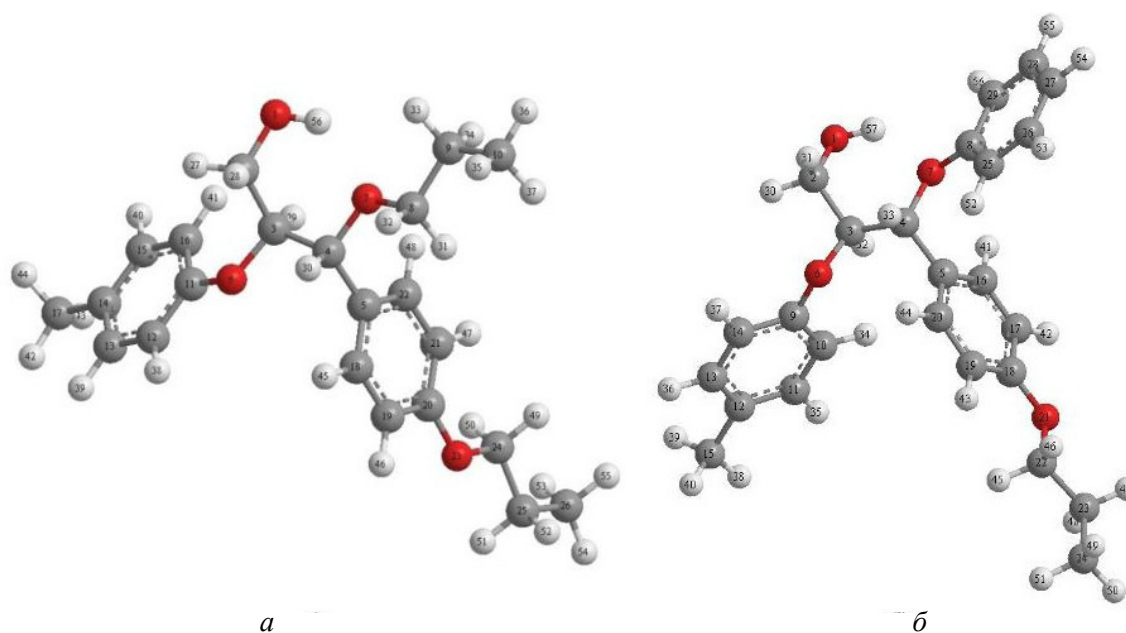


Рис. 2. Оптимизированная молекулярная структура МФЛ с различными типами заместителей:

a – Alk–Ar; *б* – Ar–Ar

Fig. 2. Optimized molecular structure of H-type lignin model fragments with different types of substituents:

a – Alk–Ar; *б* – Ar–Ar

Таблица 1

Table 1

Оптимизированные геометрические параметры МФЛ с различными типами заместителей в нейтральной среде
Optimized of H-type lignin model fragments coordinates for different types of substituents in a neutral environment

№ атома Atom number	МФЛ Alk–Ar				МФЛ Ar–Ar			
	Атом Atom	Координаты атома, Å The coordinates of the atom, Å			Атом Atom	Координаты атома, Å The coordinates of the atom, Å		
		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
1	O	2,0143	–0,8971	–0,0020	O	1,3187	1,0396	–0,3629
2	C	3,0895	–0,7782	–0,8975	C	2,5616	0,8762	0,2693
3	C	3,2562	–2,0172	–1,7762	C	3,0797	2,1582	0,9176
4	C	2,2890	–2,0312	–2,9633	C	2,4340	2,4760	2,2726
5	C	2,3519	–3,3176	–3,7457	C	2,8381	3,8338	2,7826
6	O	4,5462	–2,0574	–2,3499	O	4,4628	1,9996	1,1849
7	O	1,0015	–1,7773	–2,4301	O	1,0301	2,3601	2,0823
8	C	0,0252	–1,4705	–3,4055	C	0,2122	2,2350	3,1659
9	C	–1,2881	–1,1827	–2,7171	C	5,3725	2,5691	0,3393
10	C	–2,3896	–0,8534	–3,7103	C	5,2580	3,8655	–0,1436
11	C	5,5863	–2,5450	–1,6236	C	6,2566	4,3857	–0,9550
12	C	6,8090	–2,6096	–2,2834	C	7,3850	3,6482	–1,2934

Продолжение табл. 1
Continuation of the table 1

№ атома Atom number	МФЛ Alk–Ar				МФЛ Ar–Ar			
	Атом Atom	Координаты атома, Å The coordinates of the atom, Å			Атом Atom	Координаты атома, Å The coordinates of the atom, Å		
		x	y	z		x	y	z
13	C	7,9268	–3,0980	–1,6323	C	7,4877	2,3565	–0,7812
14	C	7,8695	–3,5355	–0,3114	C	6,4972	1,8173	0,0204
15	C	6,6404	–3,4593	0,3320	C	8,4506	4,2130	–2,1842
16	C	5,5056	–2,9716	–0,3015	C	2,1557	4,9811	2,3802
17	C	9,0831	–4,0662	0,3921	C	2,5614	6,2315	2,7988
18	C	2,9978	–3,3789	–4,9770	C	3,6719	6,3686	3,6324
19	C	3,0849	–4,5631	–5,6817	C	4,3622	5,2319	4,0412
20	C	2,5158	–5,7266	–5,1671	C	3,9363	3,9804	3,6148
21	C	1,8589	–5,6805	–3,9400	O	3,9942	7,6306	3,9892
22	C	1,7871	–4,4817	–3,2443	C	5,1162	7,8298	4,8255
23	O	2,6460	–6,8387	–5,9237	C	5,2689	9,3126	5,0678
24	C	2,1162	–8,0535	–5,4336	C	6,4596	9,6199	5,9597
25	C	2,4087	–9,1397	–6,4413	C	0,6477	2,2369	4,4852
26	C	1,8807	–10,4893	–5,9852	C	–0,2805	2,0805	5,5076
27	H	3,9936	–0,6458	–0,2997	C	–1,6283	1,9280	5,2322
28	H	2,9905	0,1081	–1,5415	C	–2,0540	1,9363	3,9098
29	H	3,0710	–2,9106	–1,1678	C	–1,1431	2,0895	2,8814
30	H	2,5788	–1,1998	–3,6244	H	3,2757	0,5863	–0,5050
31	H	–0,0823	–2,3113	–4,1029	H	2,5402	0,0703	1,0179
32	H	0,3526	–0,5974	–3,9901	H	2,8983	2,9866	0,2262
33	H	–1,1496	–0,3504	–2,0194	H	2,7725	1,6984	2,9696
34	H	–1,5681	–2,0541	–2,1171	H	4,4095	4,4820	0,1282
35	H	–2,1374	0,0266	–4,3081	H	6,1550	5,4014	–1,3237
36	H	–3,3305	–0,6454	–3,1978	H	8,3587	1,7542	–1,0205
37	H	–2,5647	–1,6832	–4,4001	H	6,5794	0,8100	0,4115
38	H	6,8624	–2,2765	–3,3131	H	8,3009	5,2808	–2,3520
39	H	8,8701	–3,1425	–2,1676	H	8,4520	3,7219	–3,1620
40	H	6,5573	–3,7857	1,3642	H	9,4456	4,0761	–1,7533
41	H	4,5753	–2,9211	0,2489	H	1,2873	4,8889	1,7374
42	H	9,9569	–4,0473	–0,2613	H	2,0291	7,1247	2,4943
43	H	8,9355	–5,0989	0,7201	H	5,2258	5,3066	4,6879
44	H	9,3205	–3,4760	1,2817	H	4,4863	3,1012	3,9342
45	H	3,4479	–2,4811	–5,3880	H	6,0171	7,4239	4,3458
46	H	3,5902	–4,6123	–6,6388	H	4,9739	7,2981	5,7761
47	H	1,4045	–6,5671	–3,5185	H	4,3470	9,6908	5,5190

Окончание табл. 1
The end of the table 1

№ атома Atom number	МФЛ Alk–Ar				МФЛ Ar–Ar			
	Атом Atom	Координаты атома, Å The coordinates of the atom, Å			Атом Atom	Координаты атома, Å The coordinates of the atom, Å		
		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
48	H	1,2681	–4,4544	–2,2918	H	5,3759	9,8161	4,1026
49	H	1,0330	–7,9561	–5,2790	H	6,3608	9,1407	6,9375
50	H	2,5722	–8,2960	–4,4642	H	6,5557	10,6939	6,1276
51	H	3,4898	–9,1877	–6,6007	H	7,3943	9,2709	5,5124
52	H	1,9617	–8,8597	–7,3996	H	1,6916	2,3790	4,7276
53	H	2,3364	–10,7969	–5,0401	H	0,0662	2,0850	6,5348
54	H	2,0971	–11,2638	–6,7229	H	–2,3426	1,8086	6,0377
55	H	0,7974	–10,4659	–5,8390	H	–3,1060	1,8213	3,6751
56	H	1,2416	–1,0948	–0,5452	H	–1,4670	2,1006	1,8469
57	–	–	–	–	H	0,7116	1,3688	0,3079

Координаты атомов различаются по пространственному расположению, но обе молекулы имеют сложную трехмерную структуру с несколькими циклами и разветвлениями.

Теоретические инфракрасные спектры МФЛ, полученные с помощью преобразования Фурье, представлены на рис. 3.

Рассчитанные методом DFT ИК-спектры демонстрируют сложный профиль с большим числом интенсивных полос, охватывающих весь стандартный диапазон ИК-излучения (от 500 до 3824 см^{–1}). Спектры характеризуются наличием многочисленных полос различной интенсивности, что позволяет сделать предварительные выводы о химической структуре исследуемого образца.

Данные спектры характерны для сложных органических соединений, содержащих множество функциональных групп и отличающихся разнообразной структурой.

Следует отметить, что ИК-спектры МФЛ с разными типами заместителей имеют соответствующие различия между собой. Основные различия между двумя ИК-спектрами, полученными с использованием метода DFT, представлены в табл. 2.

Оба соединения демонстрируют характерные для лигнина полосы поглощения, схожую картину в области ароматических колебаний.

Однако есть существенные различия в интенсивности и форме пиков: МФЛ Ar–Ar содержит

больше алкильных заместителей (метиленовых групп, судя по интенсивности 1306 см^{–1}), отличается в степени замещения ароматических колец (небольшие смещения пиков между образцами) и имеет другое соотношение структурных единиц в составе (по интенсивности полос в области 1100–1000 см^{–1}).

Эти отличия могут указывать на разное соотношение структурных единиц и различную степень замещения в молекулах обоих соединений.

Для доказательства корректности интерпретации вычисленных теоретических ИК-спектров и подтверждения ароматической природы изучаемых МФЛ, а также их принадлежности к лигнинам Н-типа было выполнено сопоставление с экспериментальным ИК-спектром из литературных данных, полученным в том же диапазоне, для лигнина, выделенного из травянистого растения (Фалева и др., 2020).

На рис. 4 приведен экспериментальный ИК-спектр лигнина, выделенного из травянистого растения камнеломки супротивнолистной (*Saxifraga oppositifolia* L.).

Все три спектра (рис. 3, а, б и 4) демонстрируют характерный для лигнина профиль: интенсивные полосы в области 1000–1200 см^{–1}, выраженные пики в диапазоне 1500–1600 см^{–1}, а также сигналы в области 2850–2950 и 3200–3600 см^{–1}.

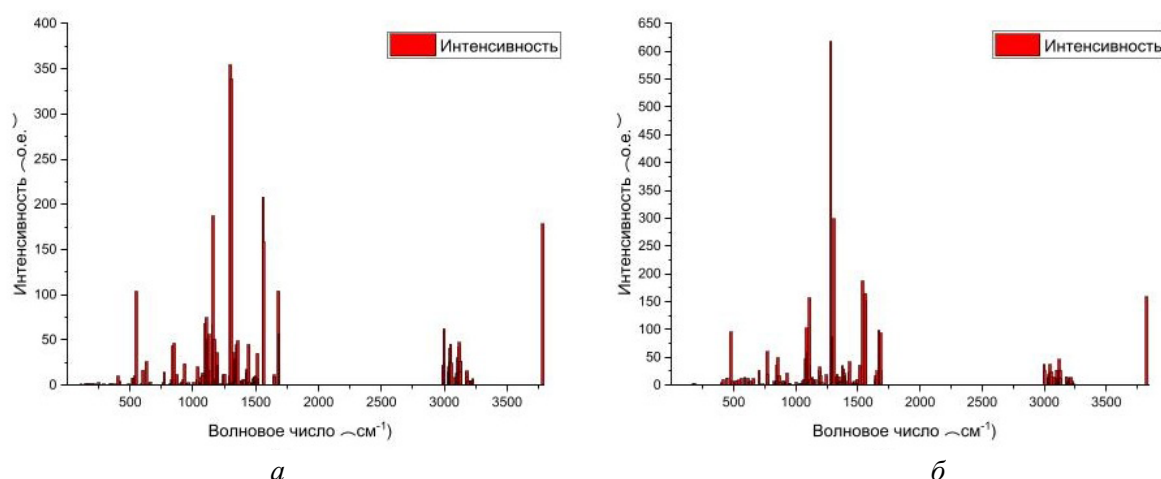


Рис. 3. Рассчитанные методом DFT ИК-спектры для МФЛ с различными типами заместителей:

a – Alk–Ar; *б* – Ar–Ar

Fig. 3. DFT-calculated IR spectra for fragments of H-type lignin molecules with different types of substituents

a – Alk–Ar; *б* – Ar–Ar

Таблица 2

Table 2

Сравнительный анализ теоретических ИК-спектров МФЛ

с различными типами заместителей

Comparative analysis of theoretical IR spectra of H-type lignin model fragments with different types of substituents

ИК-область, см ⁻¹ IR area, cm ⁻¹	Тип колебаний Type of oscillation	Характеристика Characteristic		Сравнение Comparison
		МФЛ Alk–Ar	МФЛ Ar–Ar	
3800–3000	Валентные колебания ОН-групп Valence vibrations of OH groups	Очень интенсивный пик при 3785 см ⁻¹ A very intense peak at 3785 cm ⁻¹	Очень интенсивный пик при 3825 см ⁻¹ A very intense peak at 3825 cm ⁻¹	Содержат свободные О–Н группы, которые могут быть связаны с ароматическими кольцами или алифатическими цепями в обоих соединениях They contain free O–H groups that can be bonded to aromatic rings or aliphatic chains in both compounds
3100–3000	Валентные колебания С–Н связей в ароматическом кольце Valence vibrations of C–H bonds in an aromatic ring	Интенсивные полосы при 3120–3130 см ⁻¹ Intense bands at 3120–3130 cm ⁻¹	Интенсивные полосы при 3120–3130 см ⁻¹ Intense bands at 3120–3130 cm ⁻¹	Указывает на наличие ароматических структур и их сохранность в обоих соединениях It indicates the presence of aromatic structures and their preservation in both compounds
1800–1600	Валентные колебания С=О в ароматическом кольце C=O valence vibrations in the aromatic ring	Очень интенсивный пик при 1680 см ⁻¹ A very intense peak at 1680 cm ⁻¹	Очень интенсивный пик при 1670 см ⁻¹ A very intense peak at 1670 cm ⁻¹	
1600–1500	Скелетные колебания С=C связей в ароматическом кольце Skeletal vibrations of C=C bonds in an aromatic ring	Сильные полосы при 1560–1558 см ⁻¹ Strong bands at 1560–1558 cm ⁻¹	Сильные полосы при 1560–1556 см ⁻¹ Strong bands at 1560–1556 cm ⁻¹	Подтверждает наличие ароматических структур и их схожесть в обоих соединениях Confirms the presence of aromatic structures and their similarity in both compounds

Окончание табл. 2
The end of the table 2

ИК-область, см ⁻¹ IR area, cm ⁻¹	Тип колебаний Type of oscillation	Характеристика Characteristic		Сравнение Comparison
		МФЛ Alk–Ar	МФЛ Ar–Ar	
1300–1200	Деформационные колебания различных групп Deformation vibrations of various groups	Пики при 1321–1335 см ⁻¹ Peaks at 1321–1335 cm ⁻¹	Очень интенсивный пик при 1306 см ⁻¹ A very intense peak at 1306 cm ⁻¹	Присутствие алкильных заместителей для МФЛ Alk–Ar: валентным колебаниям связи С–Н в метильной группе (–CH ₃). Для МФЛ Ar–Ar: валентными колебаниями связи С–Н в метиленовых группах (–CH ₂ –) Presence of alkyl substituents for MFL Alk–Ar: C–H bond valence vibrations in the methyl group (–CH ₃). for MFL Ar–Ar: C–H bond valence vibrations in the methylene groups (–CH ₂ –)
1100–1000	Валентные колебания С–О связей Valence vibrations of C–O bonds	Сильные полосы при 1159 см ⁻¹ и 1119–1127 см ⁻¹ Strong bands at 1159 cm ⁻¹ and 1119–1127 cm ⁻¹	Полосы при 1110 см ⁻¹ и 1133–1156 см ⁻¹ Bands at 1110 cm ⁻¹ and 1133–1156 cm ⁻¹	Различия в интенсивности указывают на разное распределение заместителей (наличие эфирных связей и других функциональных групп) Differences in intensity indicate different distributions of substituents (the presence of ether bonds and other functional groups)
500–1500	Скелетные колебания, деформационные колебания Skeletal vibrations, deformation vibrations	Интенсивный пик при 550 см ⁻¹ An intense peak at 550 cm ⁻¹	Интенсивный пик при 475 см ⁻¹ An intense peak at 475 cm ⁻¹	Деформационные колебания С–Н в ароматических соединениях, наличие ароматической системы C–H deformation vibrations in aromatic compounds, the presence of an aromatic system

Это указывает на то, что теоретические модели в целом воспроизводят основные структурные особенности лигнина травянистого происхождения.

Ключевые области сравнения:

– 3800–3000 см⁻¹ (О–Н) – во всех спектрах присутствуют широкие полосы, характерные для гидроксильных групп;

– 3100–3000 см⁻¹ (С–Н) – выраженные пики присутствуют во всех спектрах, что подтверждает наличие алифатических фрагментов (вероятно метильные и метиленовые группы);

– 1800–1600 см⁻¹ (С=О) – в экспериментальном спектре – полоса поглощения, в теоретических – область выражена в виде пика, что может говорить о недостаточной детализации модели или отсутствии учета определенных функциональных групп;

– 1600–1500 см⁻¹ (ароматическое кольцо) – основные пики совпадают по положению, что свидетельствует о корректном учете ароматических структур в моделях;

– 1300–1200 см⁻¹ (алкильные фрагменты) – области являются характерными маркерами присутствия алкильных заместителей в лигнинных со-

единениях и помогают в идентификации и анализе структуры молекул;

– 1150–1000 см⁻¹ (С–О, С–О–С) – совпадение пиков в этих областях подтверждает адекватность моделирования кислородсодержащих фрагментов.

Теоретические спектры характеризуются большей «пиковостью» и симметричностью, в то время как экспериментальные спектры демонстрируют расширение и «растягивание», вызванное межмолекулярными взаимодействиями и неоднородностью образца. В теоретических спектрах могут возникать дополнительные пики, отсутствующие в экспериментальных данных, или, наоборот, важные полосы могут не проявляться, что связано с упрощениями модели или неучтенными внешними факторами. Тем не менее такие расхождения являются предсказуемыми и не рассматриваются как недостаток теоретического подхода. Основные пики совпадают по положению и относительной интенсивности, что позволяет считать DFT-моделирование применимым для анализа структурных звеньев лигнина Н-типа.

На рис. 5 представлен экспериментальный ИК-спектр ПБС, полученного из биомассы травянистого растения борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*).

Сравнения ключевых характеристик ИК-спектров соответствующих различным исходным компонентам (МФЛ Alk–Ar и Ar–Ar) и конечному продукту (ПБС), представлено в табл. 3.

Все три спектра имеют схожие общие черты, однако были выявлены существенные отличия, позволяющие предположить механизм химических преобразований природного лигнина Н-типа при получении ПБС:

– водородные связи (ОН-группы) – исчезновение широкой полосы поглощения гидроксильных групп в спектре продукта указывает на протекание реакций дегидратации и/или конденсации;

– алкановые фрагменты (группы C–H) – значительно усиленный пик в спектре продукта может свидетельствовать о накоплении алкильных групп вследствие химических превращений;

– карбонильные группы (C=O) – наблюдается снижение интенсивности и уменьшение числа интенсивных пиков, что указывает на уменьшение содержания карбонильных групп в процессе преобразований;

– ароматические фрагменты – сохраняются аналогичные пики, что указывает на сохранение основной структуры (скелета) исходного лигнина;

– эфирные или спиртовая группы (C–O, C–O–C) – широкие полосы расщепляются на узкие, менее интенсивные компоненты, что свидетельствует о трансформации кислородсодержащих фрагментов и частичном сохранении этих групп в новых химических связях.

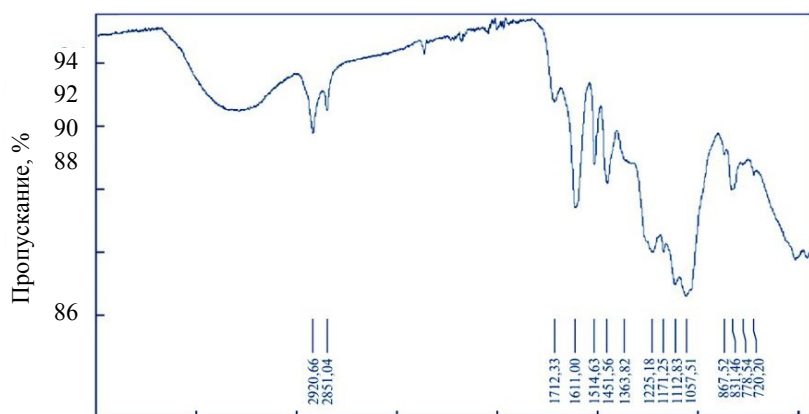


Рис. 4. ИК-спектр лигнина растения камнеломка супротивнолистная (Фалева и др., 2020)

Fig. 4. The IR spectrum of lignin Mountain saxifrage

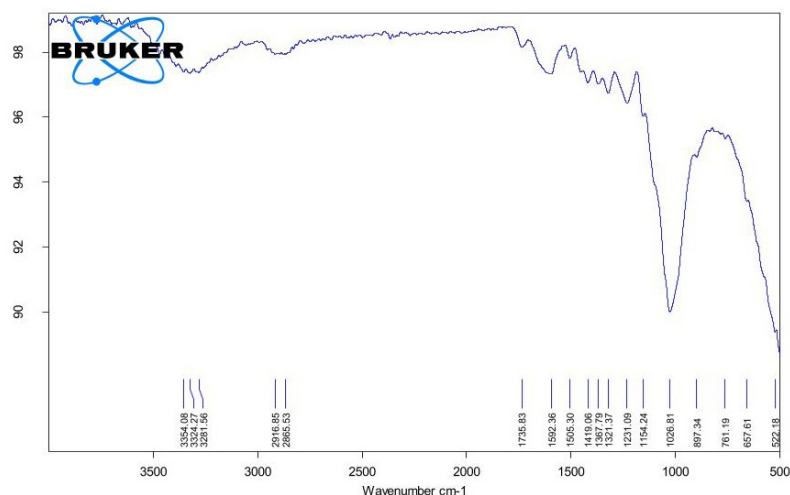


Рис. 5. ИК-спектр образца ПБС на основе биомассы борщевика

Fig. 5. IR spectrum of a sample of lignocellulose plastic without resins based on hogweed biomass

Таблица 3

Table 3

Основные полосы поглощения ИК-спектров для МФЛ и ПБС
травянистого происхождения
The main absorption bands of IR spectra for H-type lignin model fragments
and lignocellulose plastic without synthetic binders of herbal origin

ИК-об- ласть, см ⁻¹ IR area, cm ⁻¹	Тип колебаний Type of oscillation	Характеристика Characteristic		
		МФЛ Alk–Ar	МФЛ Ar–Ar	ПБС
3800–3000	ОН–группа OH-group	Очень интенсивный пик A very intense peak	Очень интенсивный пик A very intense peak	Нет заметного пика There is no noticeable peak
3100–3000	Алканы (C–H) Alkanes (C–H)	Интенсивные полосы Intense streaks	Интенсивные полосы Intense streaks	Один сильный пик One strong peak
1800–1600	Карбонильная группа (C=O) Carbonyl group (C=O)	Очень интенсивный пик A very intense peak	Очень интенсивный пик A very intense peak	Умеренно интенсивный пик Moderately intense peak
1600–1500	Ароматический фрагмент C=C Aromatic fragment C=C	Сильные полосы Strong stripes	Сильные полосы Strong stripes	Умеренно интенсивный пик Moderately intense peak
1300–1200	Деформационные колебания CH Deformation vibrations of CH	Несколько небольших пиков	Очень интенсивный пик A very intense peak	Несколько небольших пиков A few small peaks
1100–1000	Эфирные или спиртовые группы (C–O, C–O–C) Ether or alcohol groups (C–O, C–O–C)	Сильные полосы Strong stripes	Полосы Stripes	Несколько малых пиков Several small peaks
500–1500	Кольцевые деформации, замещение Annular deformations, substitution	Интенсивный пик Intense rush	Интенсивный пик Intense rush	Несколько мелких пиков Several small peaks

Таким образом, проведенное сравнительное исследование ИК-спектров показало, что наибольшую степень сходства с продуктом демонстрирует исходный компонент МФЛ Ar–Ar. Это свидетельствует о преобладающем участии указанного компонента в реакционном процессе, приводящем к формированию ПБС. Процесс формирования целевого продукта сопровождается химическими преобразованиями, соответствующими механизму окислительных (деструктивных) и конденсационных реакций.

Выводы

Выполнена интерпретация ИК-спектров модельных фрагментов лигнина Н-типа с различными заместителями (Alk–Ar и Ar–Ar), достоверность которой подтверждается сопоставлением теоретических и экспериментального ИК-спектров. В интерпретации приведены совпадающие частоты полос обоих спектров, а также локализа-

ция и тип колебаний функциональных групп и отдельных атомов.

В целом теоретические спектры соответствуют экспериментальным по положению и относительной интенсивности основных полос. Это свидетельствует о применимости теории DFT для анализа структурных звеньев лигнина Н-типа. Вычисленные теоретические ИК-спектры могут служить эталонными моделями при идентификации лигнина Н-типа в составе лигноуглеводных комплексов травянистого сырья.

Проведенный анализ спектра конечного продукта (ПБС), основанный на сравнении с теоретическими спектрами, полученными с помощью DFT, позволяет предположить, что природный лигнин Н-типа с преобладающим типом заместителей Ar–Ar (или близкий к нему по структуре) с наибольшей вероятностью является одним из исходных реагентов, участвующих в синтезе конечного продукта. Это предположение подтверждается

изменением содержания функциональных групп (карбонильная группа, эфирная или прочие структуры) и изменением водородных связей (сдвиг полосы О–Н). Также отмечается уменьшение количества углеводородных фрагментов, что проявляется в снижении интенсивности пика С–Н колебаний. Данные расхождения объясняются особенностями химического механизма формирования ПБС и спецификой взаимодействия природных компонентов в ходе данного технологического процесса.

Список источников

- Болтовский В. С. Применение метода автогидролиза-взрыва при переработке растительной биомассы // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. № 2 (247). С. 5–12. DOI: 10.52065/2520-2669-2021-247-2-5-12
- Борщевик Сосновского как сырье для получения пластиков / А. С. Еришова, А. В. Савиновских, А. В. Артемов, В. Г. Бурындин // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23, № 10. С. 34–37.
- Зиятдинова Д. Ф., Сафин Р. Г., Просвирников Д. Б. Исследование влияния высокотемпературной обработки на свойства продуктов, полученных методом паровзрывного гидролиза лигноцеллюлозного материала // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 58–66.
- Кожевников А. Ю., Шестаков С. Л., Сыпалова Ю. А. Вопросы структурной организации лигнина и перспективы его переработки // Химия растительного сырья. 2023. № 2. С. 5–26. DOI: 10.14258/jcrpm.20230211737
- Сыпалова Ю. А., Шестаков С. Л., Кожевников А. Ю. Функциональный состав и структурные особенности лигнинов высших растений // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 5. С. 164–183. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-164-183
- Фалева А. В., Белесов А. В., Кожевников А. Ю. Изучение химической структуры лигнина камнеломки супротивнолистной (*Saxifraga oppositifolia* L.) методами ИК- и ЯМР-спектроскопии // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 2. С. 111–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-111-118
- An Investigation of Complexes of Lignin Found in Plant Raw Materials as a Natural Binder in Obtaining Plastic in Closed Molds / A. V. Artemov, V. G. Buryndin, P. S. Krivonogov [et al.] // Polymer Science, Series D. 2023. Vol. 16, № 2. P. 278–284. DOI: 10.1134/s1995421223020028
- Beheshti A., Pourbasheer E., Ganjali M. R. Density function theory calculation to study the oxidation potential of electron-donating compounds; affirming the oxidation mechanism by NICS calculations // Journal of Molecular Modeling. 2023. № 29 (2). URL: https://www.researchgate.net/figure/Structure-entered-variables-and-experimental-and-predicted-first-oxidation-potential-of_tbl1_366945603 (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1007/s00894-022-05431-1
- Borcsok Z., Pasztory Z. The role of lignin in wood working processes using elevated temperatures: an abbreviated literature survey // European Journal of Wood and Wood Products. 2021. № 79. P. 511–526. DOI: 10.1007/s00107-020-01637-3
- Efficient, approximate and parallel Hartree-Fock and hybrid DFT calculations. A ‘chain-of-spheres’ algorithm for the Hartree-Fock exchange / F. Neese, F. Wennmohs, A. Hansen, U. Becker // Chemical Physics. 2009. Vol. 356, № 1–3. P. 98–109. DOI: 10.1016/j.chemphys.2008.10.036
- Maia R. A., Ventorim G., Batagin-Neto A. Reactivity of lignin subunits: the influence of dehydrogenation and formation of dimeric structures // Journal of Molecular Modeling. 2019. № 25 (8). URL: https://www.researchgate.net/publication/350858559_A_Study_of_Reactivity_of_Model_Compounds_of_Lignin_Biopolymer (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1007/s00894-019-4130-4
- Mechanical and Morphological Properties of Lignin-Based Thermosets / M. E. Jawerth, C. J. Brett, C. Terrier [et al.] // ACS Applied Polymer Materials. 2020. № 2 (2). P. 668–676. DOI: 10.1021/acsapm.9b01007
- Molecular understanding of the morphology and properties of lignin nanoparticles: unravelling the potential for tailored applications / I. V. Pylypchuk, M. Karlsson, P. A. Lindén [et al.] // Green Chemistry. 2023. № 25 (11). P. 4415–4428. DOI: 10.1039/d3gc00703k

- Neese F. Software update : The ORCA program system – Version 5.0 // Wiley Interdisciplinary Reviews : Computational Molecular Science. 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/359114779_Software_update_The_ORCA_program_system-Version_50 (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1002/wcms.1606
- Neese F. The SHARK integral generation and digestion system // Journal of Computational Chemistry. 2023. № 44 (3). P. 381–396. DOI: 10.1002/jcc.26942
- Okuda N., Hori K., Sato M. Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (I): influence of the pressing temperature condition // Journal of Wood Science. 2006. № 52. P. 244–248. DOI: 10.1007/s10086-005-0761-4
- Open Babel : An open chemical toolbox / N. M. O'Boyle, M. Banck, C. A. James [et al.] // Journal of cheminformatics. 2011. № 3. URL: https://www.researchgate.net/publication/51701893_Open_Babel_An_Open_Chemical_Toolbox (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1186/1758-2946-3-33
- Oxidative Catalytic Fractionation and Depolymerization of Lignin in a One-Pot Single-Catalyst System / X. Du, A. Tricker, W. Yang [et al.] // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 2021. № 9 (2). URL: https://www.researchgate.net/publication/374240354_Catalytic_depolymerization_of_lignin_by_metal_and_metal_oxide_a_review (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c08448
- Proposed supramolecular structure of lignin in softwood tracheid compound middle lamella regions / N. Terashima, M. Yoshida, J. Hafrén [et al.] // Holzforschung. 2012. Vol. 66, № 8. P. 907–915. DOI: 10.1515/hf-2012-0021
- Sanchez-Gonzalez A., Martín-Martínez F. J., Dobado J. A. The role of weak interactions in lignin polymerization // Journal of Molecular Modeling. 2017. № 23 (3). URL: https://www.researchgate.net/publication/313809604_The_role_of_weak_interactions_in_lignin_polymerization (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1007/s00894-017-3257-4
- Seifert E. Origin Pro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software-Software Review // Journal of chemical information and modeling. 2014. № 54 (5). URL: https://www.researchgate.net/publication/261404682-Origin_Pro_91_Scientific_Data_Analysis_and_Graphing_Software-Software_Review (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1021/ci500161d
- Tajuddin M., Ahmad Z., Ismail H. A review of natural fibers and processing operations for the production of binderless boards // BioResources. 2016. № 11 (2). P. 5600–5617. DOI: 10.15376/biores.11.2.Tajuddin
- Theoretical study on the reaction mechanism of Dakin oxidation: influence of methoxy groups / S. Dong, Z. Zhang, H. Zhang [et al.] // Wood Science and Technology. 2024. № 58. P. 1141–1152. DOI: 10.1007/s0036024422030190
- β-O-4' Dimerization of coniferyl alcohol: an ab initio study / V. E. Petrenko, E. G. Odinskaya, M. L. Antipova [et al.] // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2022. Vol. 96, № 3. P. 680–683. DOI: 10.1134/S0036024422030190

References

- An Investigation of Complexes of Lignin Found in Plant Raw Materials as a Natural Binder in Obtaining Plastic in Closed Molds / A. V. Artemov, V. G. Buryndin, P. S. Krivonogov [et al.] // Polymer Science, Series D. 2023. Vol. 16, № 2. P. 278–284. DOI: 10.1134/s1995421223020028
- Beheshti A., Pourbasheer E., Ganjali M. R. Density function theory calculation to study the oxidation potential of electron-donating compounds; affirming the oxidation mechanism by NICS calculations // Journal of Molecular Modeling. 2023. № 29 (2). URL: https://www.researchgate.net/figure/Structure-entered-variables-and-experimental-and-predicted-first-oxidation-potential-of_tbl1_366945603 (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1007/s00894-022-05431-1
- Boltovsky V. S. Application of the autohydrolysis-explosion method in the processing of plant biomass // Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2021. № 2 (247). P. 5–12. DOI: 10.52065/2520-2669-2021-247-2-5-12 (In Russ.)

- Borcsok Z., Pasztory Z.* The role of lignin in wood working processes using elevated temperatures: an abbreviated literature survey // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2021. № 79. P. 511–526. DOI: 10.1007/s00107-020-01637-3
- Efficient, approximate and parallel Hartree-Fock and hybrid DFT calculations. A ‘chain-of-spheres’ algorithm for the Hartree-Fock exchange / *F. Neese, F. Wennmohs, A. Hansen, U. Becker* // *Chemical Physics*. 2009. Vol. 356, № 1–3. P. 98–109. DOI: 10.1016/j.chemphys.2008.10.036
- Faleva A. V., Belesov A. V., Kozhevnikov A. Yu.* Study of the chemical structure of lignin of *Saxifraga oppositifolia* L. by IR and NMR spectroscopy // *Forestry Bulletin*. 2020. Vol. 24, № 2. P. 111–118. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-111-118 (In Russ.)
- Kozhevnikov A. Yu., Shestakov S. L., Sypalova Yu. A.* Issues of the structural organization of lignin and the prospects for its processing // *Chemistry of plant raw materials*. 2023. № 2. P. 5–26. DOI: 10.14258/jcprm.20230211737 (In Russ.)
- Maia R. A., Ventorim G., Batagin-Neto A.* Reactivity of lignin subunits: the influence of dehydrogenation and formation of dimeric structures // *Journal of Molecular Modeling*. 2019. № 25 (8). URL: https://www.researchgate.net/publication/350858559_A_Study_of_Reactivity_of_Model_Compounds_of_Lignin_Biopolymer (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1007/s00894-019-4130-4
- Mechanical and Morphological Properties of Lignin-Based Thermosets / *M. E. Jawerth, C. J. Brett, C. Terrier* [et al.] // *ACS Applied Polymer Materials*. 2020. № 2 (2). P. 668–676. DOI: 10.1021/acsapm.9b01007
- Molecular understanding of the morphology and properties of lignin nanoparticles: unravelling the potential for tailored applications / *I. V. Pylypchuk, M. Karlsson, P. A. Lindén* [et al.] // *Green Chemistry*. 2023. № 25 (11). P. 4415–4428. DOI: 10.1039/d3gc00703k
- Neese F.* Software update : The ORCA program system – Version 5.0 // *Wiley Interdisciplinary Reviews : Computational Molecular Science*. 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/359114779_Software_update_The_ORCA_program_system-Version_50 (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1002/wcms.1606
- Neese F.* The SHARK integral generation and digestion system // *Journal of Computational Chemistry*. 2023. № 44 (3). P. 381–396. DOI: 10.1002/jcc.26942
- Okuda N., Hori K., Sato M.* Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (I): influence of the pressing temperature condition // *Journal of Wood Science*. 2006. № 52. P. 244–248. DOI: 10.1007/s10086-005-0761-4
- Open Babel : An open chemical toolbox / *N. M. O’Boyle, M. Banck, C. A. James* [et al.] // *Journal of cheminformatics*. 2011. № 3. URL: https://www.researchgate.net/publication/51701893_Open_Babel_An_Open_Chemical_Toolbox (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1186/1758-2946-3-33
- Oxidative Catalytic Fractionation and Depolymerization of Lignin in a One-Pot Single-Catalyst System / *X. Du, A. Tricker, W. Yang* [et al.] // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2021. № 9 (2). URL: https://www.researchgate.net/publication/374240354_Catalytic_depolymerization_of_lignin_by_metal_and_metal_oxide_a_review (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c08448
- Proposed supramolecular structure of lignin in softwood tracheid compound middle lamella regions / *N. Terashima, M. Yoshida, J. Hafrén* [et al.] // *Holzforschung*. 2012. Vol. 66, № 8. P. 907–915. DOI: 10.1515/hf-2012-0021
- Sanchez-Gonzalez A., Martín-Martínez F. J., Dobado J. A.* The role of weak interactions in lignin polymerization // *Journal of Molecular Modeling*. 2017. № 23 (3). URL: https://www.researchgate.net/publication/313809604_The_role_of_weak_interactions_in_lignin_polymerization (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1007/s00894-017-3257-4
- Seifert E.* Origin Pro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software-Software Review // *Journal of chemical information and modeling*. 2014. № 54 (5). URL: https://www.researchgate.net/publication/261404682-Origin_Pro_91_Scientific_Data_Analysis_and_Graphing_Software-Software_Review (accessed 20.04.2026). DOI: 10.1021/ci500161d

- Sosnowsky's hogweed as a raw material for producing plastics / A. S. Ershova, A. V. Savinovskikh, A. V. Artemov, V. G. Buryndin // Bulletin of the Technological University. 2020. Vol. 23, № 10. P. 34–37. (In Russ.)
- Sypalova Yu. A., Shestakov S. L., Kozhevnikov A. Yu. Functional composition and structural features of lignins of higher plants // News of universities. Forestry journal. 2023. № 5. P. 164–183. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-164-183 (In Russ.)
- Tajuddin M., Ahmad Z., Ismail H. A review of natural fibers and processing operations for the production of binderless boards // BioResources. 2016. № 11 (2). P. 5600–5617. DOI: 10.15376/biores.11.2.Tajuddin
- Theoretical study on the reaction mechanism of Dakin oxidation: influence of methoxy groups / S. Dong, Z. Zhang, H. Zhang [et al.] // Wood Science and Technology. 2024. № 58. P. 1141–1152. DOI: 10.100
- Ziatdinova D. F., Safin R. G., Prosvirnikov D. B. Study of the effect of high-temperature treatment on the properties of products obtained by steam explosive hydrolysis of lignocellulosic material // Bulletin of the Kazan Technological University. 2011. № 12. P. 58–66. (In Russ.)
- β -O-4' Dimerization of coniferyl alcohol: an ab initio study / V. E. Petrenko, E. G. Odinskaya, M. L. Antipova [et al.] // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2022. Vol. 96, № 3. P. 680–683. DOI: 10.1134/S0036024422030190

Информация об авторах

Артём Вячеславович Артёмов – кандидат технических наук, доцент;
artemovav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6994-0154>

Виктор Гаврилович Буриндин – доктор технических наук, профессор;
buryndinv@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

Анна Сергеевна Ершова – ассистент;
ershovaas@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6248-0028>

Алексей Евгеньевич Шкуро – доктор технических наук, доцент;
shkuroae@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

Светлана Николаевна Пазникова – кандидат технических наук, доцент.
tatanaakubova71723@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0006-1880-8368>

Information about the authors

Artyom V. Artyomov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
artemovav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6994-0154>

Victor G. Buryndin – Doctor of Technical Sciences, Professor;
buryndinv@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

Anna S. Ershova – Assistant;
ershovaas@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6248-0028>

Aleksey E. Shkuro – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
shkuroae@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

Svetlana N. Paznikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.
tatanaakubova71723@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0006-1880-8368>

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; принята к публикации 12.06.2025.

The article was submitted 27.04.2026; accepted for publication 12.06.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 163–172.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 163–172.

Научная статья

УДК 674.8+544.723

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.016

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ Cu(II) МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОПИЛКАМИ В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Даниил Юрьевич Дворянкин¹, Ирина Андреевна Клепалова²,
Инна Геннадьевна Первова³

^{1–3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ daniil.dvoryankin.02@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0006-8710-1446>

² klepalovaia@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5906-5787>

³ pervovaig@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1635-8643>

Аннотация. В статье представлено исследование сорбционных свойств по отношению к ионам меди модифицированных опилок липы в динамических условиях. В качестве исходного сырья использованы древесные опилки липы фракции 0,75–2,00 мм, которые были подвергнуты модификации различными методами: термообработке опилок при 300 °С, химической обработке раствором 5 н HNO_3 , термохимической модификации с использованием поэтапно тех же условий обжига и кислотной обработки. Целью исследования являлась оценка потенциального многократного применения полученных модифицированных сорбентов в процессах сорбции-десорбции ионов меди(II) из водных сред. Сорбционные характеристики в динамических условиях исследовались на установке, основным элементом которой являлась стеклянная сорбционная колонка диаметром 10 мм длиной 300 мм с массой загруженного сорбента 1 г. При изучении прямого процесса сорбции использовали раствор сульфата меди ($C = 120 \text{ мг/дм}^3$). В качестве десорбирующего реагента применяли раствор 5 н H_2SO_4 . На каждом исследуемом сорбенте провели два цикла сорбции-десорбции. Наибольшей емкостью в динамических условиях обладает образец опилок липы, модифицированный термохимическим методом, с емкостью 31,12 мг/г на 1-м цикле сорбции и 29,72 мг/г на 2-м цикле, что выше значений для нативных опилок в 7,78 и 9,17 раза соответственно. Эффективность десорбции составляет 81,7–84,8 %, причем концентрация меди в десорбирующем растворе на выходе из колонки достигает 1 г/л. Таким образом, показано, что модифицированные опилки липы могут успешно применяться для концентрационного извлечения ионов меди(II) в динамических условиях, обеспечивая обезвреживание водных сред до нормативных требований к их качеству и безопасности.

Ключевые слова: опилки липы, фильтрующие материалы, адсорбция, очистка сточных вод

Для цитирования: Дворянкин Д. Ю., Клепалова И. А., Первова И. Г. Сорбционное извлечение ионов Cu(II) модифицированными опилками в динамических условиях // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 163–172.

Original article

SORPTION EXTRACTION OF CU(II) IONS BY MODIFIED SAWDUST UNDER DYNAMIC CONDITIONS

Daniil Yu. Dvoryankin¹, Irina A. Klepalova², Inna G. Pervova³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ daniil.dvoryankin.02@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0006-8710-1446>

² klepalovaia@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5906-5787>

³ pervovaig@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1635-8643>

Abstract. This article presents a study of the copper ion sorption properties of modified linden sawdust under dynamic conditions. For the research, four sorbent samples were obtained and investigated. As the initial sample, it was used linden sawdust with the particle size of 0,75–2,00 mm, for the rest samples, linden sawdust was modified by various methods: thermal modification at $T = 300^\circ\text{C}$, chemical modification by 5N HNO_3 solution, and thermochemical modification using the same firing conditions and acid treatment. The research aimed to evaluate the performance of potential multiple use of the sorbents for sorption-desorption of copper (II) ions from aquatic media. Sorption characteristics under dynamic conditions were researched using a setup whose main element was a glass sorption column with a diameter of 10 mm and a length of 300 mm, with a loaded sorbent mass of 1 g. When researching the direct sorption, a solution of copper sulfate ($C = 120 \text{ mg/dm}^3$) was used. A 5N H_2SO_4 solution was used as a desorbing reagent. Two sorption-desorption cycles were performed on each of the sorbent samples. The highest capacity was shown by the thermochemically modified linden sawdust sample with a capacity of 31,12 mg/g in the first sorption cycle and 29,72 mg/g in the second cycle, which is 7,78 and 9,17 times higher than the values for native sawdust, respectively. The desorption efficiency was 81,7–84,8 %, with the copper concentration reaching 1 g/l in the desorbing solution at the column outlet. Thus, it was demonstrated that modified linden sawdust can be successfully used for the concentrated extraction of copper(II) ions under dynamic conditions, ensuring the decontamination of aquatic environments to meet regulatory quality and safety requirements.

Keywords: linden sawdust, filter materials, adsorption, wastewater treatment.

For citation: Dvoryankin D. Yu., Klepalova I. A., Pervova I. G. Sorption extraction of Cu(II) ions by modified sawdust under dynamic conditions // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 163–172.

Введение

Практика очистки промышленных сточных вод с использованием сорбционного метода в настоящее время наиболее перспективна вследствие как высокой эффективности извлечения ионов металлов, так и из-за отсутствия вторичного загрязнения обрабатываемой воды по сравнению с традиционным химическим методом. При модернизации существующих технологий внедрение адсорбции позволяет снижать остаточное содержание неорганических загрязнений до требований нормативов и проводить концентрирова-

ние ценных компонентов. Принцип экономичности, которым руководствуются предприятия при оптимизации процесса обезвреживания сточных вод, заключается в сравнении затрат на сырье, реагенты и утилизацию отходов с выгодами от полученных продуктов и минимизации воздействия на окружающую среду. По этой причине при выборе сорбционного материала обязательно учитываются не только его сорбционные характеристики (например, сорбционная емкость), но и стоимость, а также возможность регенерации и/или утилизации отработанного сорбента.

В последние десятилетия в мире достаточно интенсивно изучаются сорбционные способности опилок различных пород древесины, образующихся в больших количествах в процессе деятельности деревообрабатывающих предприятий. Благодаря пористой структуре, отличным механическим свойствам и присутствию на поверхности разнообразных функциональных групп опилки хорошо зарекомендовали себя в качестве перспективных сорбционных целлюлозосодержащих материалов для обезвреживания сточных вод от ионов тяжелых металлов (Balintova et al., 2016; Meez et al., 2021; Notzir et al., 2022; Utilizing adsorption..., 2024), в том числе и от ионов меди(II) (Al-Jannbi, Almansorry, 2021; Using of wooden sawdust..., 2019; Углеродные сорбенты на основе отходов..., 2024).

Важную роль в улучшении сорбционных свойств нативных опилок играет способ модификации, активно влияющий на изменение состава поверхностных функциональных групп сорбентов, на механизм адсорбции и эффективность извлечения металлов. Авторы исследований (Sawdust-based adsorbents..., 2025; Aslam, Khan, 2022; Chemical modifications..., 2016) показали, что варьированием условий химической и/или термической обработки возможно устранить недостатки, присущие нативным опилкам древесины различных пород (ограниченная адсорбционная способность из-за малой площади поверхности, недостаточной пористости и недоступности активных центров), и получить сорбционные целлюлозосодержащие материалы, позволяющие реализовать извлечение ионов металлов за счет ионного обмена, комплексообразования на поверхности, физической адсорбции или электростатического взаимодействия.

В то же время для того чтобы сорбенты могли быть применены в технологиях очистки промышленных стоков, они, кроме сорбционной емкости, должны обладать комплексом специфических свойств, таких как механическая прочность, определенный фракционный состав, а также способность к эффективной регенерации. В этой связи особенно значимы исследования по повторному применению опилок для концентрирования извле-

каемых металлов с возможностью их десорбции и восстановления исходных характеристик сорбентов. Десорбция не только позволяет оценить перспективность использования сорбента без потери его эффективности, но и снижает стоимость всего процесса сорбционного удаления загрязняющих веществ из водных сред. При этом, как отмечают авторы (Chatterjee, Abraham, 2019), выбор десорбирующего реагента (кислоты, спирты, щелочи) для регенерации целлюлозосодержащих сорбентов в значительной степени зависит как от вида древесины, так и природы извлекаемого металла.

Однако стоит отметить, что в основном исследования сорбции-десорбции с использованием опилок проводились в статических условиях (The role of sawdust..., 2002; Witek-Krowiak, 2013; Sawdust-biomass..., 2022), в то время как для внедрения на предприятиях необходимы результаты экспериментов в динамических условиях проточного режима, поскольку полноценная интеграция целлюлозосодержащих сорбентов в технологические процессы определяется как их эффективностью при сорбционном извлечении ионов металлов до нормативных требований качества воды, так и возможностью регенерации с помощью десорбирующего раствора без существенного разрушения структуры сорбента.

Цель, методики и объекты исследования

Целью настоящего исследования являлась оценка потенциального применения модифицированных различными способами опилок древесины липы в процессах сорбции-десорбции ионов меди(II) из водных сред.

В соответствии с методикой (Углеродные сорбенты на основе отходов..., 2024) для экспериментов были подготовлены на основе нативных опилок липы с размером частиц 0,75–2,00 мм (сорбент 1) модифицированные образцы: сорбент 2, полученный в результате термообработки опилок при 300 °С; сорбент 3 – опилки, химически модифицированные 5 н HNO₃; сорбент 4 – опилки, термохимически модифицированные в результате обжига и кислотной обработки. Физико-механические и физико-химические характеристики

полученных сорбентов 1–4, в том числе статическая обменная емкость, были ранее представлены в (Углеродные сорбенты на основе опилок..., 2024; Первова, Дворянкин, 2025).

Исследование процессов сорбции-десорбции ионов Cu(II) опилками липы проводили на установке, основным элементом которой является стеклянная сорбционная колонка диаметром 10 мм длиной 300 мм. Высота загруженного в колонку сорбционного материала составила 85 мм, масса сорбента – 1 г. При изучении прямого процесса сорбции использовали раствор сульфата меди ($C = 120 \text{ мг/дм}^3$), скорость пропускания – 3 мл/мин. Исследование процесса извлечения ионов металла в динамических условиях заключалось в снятии выходных кривых сорбции. Для этого на выходе из колонки собирали фильтрат порциями 25 мл и определяли в нем остаточное содержание меди. Фильтрат анализировали на содержание ионов комплексонометрически (Лурье, 1971). Раствор продолжали пропускать через колонку до выравнивания концентраций ионов Cu(II) в поступающем и вытекающем растворах. После насыщения сорбента его отмывали дистиллированной водой объемом 150 мл.

Количество сорбированных ионов металла, мг, в каждом цикле сорбции рассчитывали по формуле

$$m = (C - C_{\text{кон}}) V, \quad (1)$$

где C – концентрация ионов меди(II) в пропускаемом растворе, мг/дм³;

$C_{\text{кон}}$ – концентрация ионов меди(II) в растворе после сорбции, мг/дм³;

V – количество раствора, пропущенного через сорбент.

Эффективность десорбции (в %) для исследуемых сорбентов рассчитывали по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{десорб}} = \frac{\text{Масса сорбированной меди}}{\text{Масса десорбированной меди}} 100 \%. \quad (2)$$

ДОЕ (динамическая обменная емкость) сорбента определялась по появлению сорбируемого иона в вытекающем из колонки растворе (по проскоку). ПДОЕ (полная динамическая обменная емкость) сорбента определялась по полному прекращению

извлечения сорбируемого иона из пропускаемого через колонку с сорбентом раствора, т. е. в момент выравнивания концентрации поглощаемого иона в исходном растворе и фильтрате.

Рассчитывали ДОЕ (мг/г) и ПДОЕ (мг/г) по формулам:

$$\text{ДОЕ} = \frac{CV_{\text{проскок}}}{m_{\text{сорбента}}}, \quad (3)$$

$$\text{ПДОЕ} = \frac{CV_{\text{полный}}}{m_{\text{сорбента}}}, \quad (4)$$

где C – концентрация ионов меди(II) в пропускаемом растворе, мг/дм³; $V_{\text{проскок}}$ – количество раствора, пропущенного через сорбент до проскока поглощаемого иона, дм³; $V_{\text{полный}}$ – количество раствора, пропущенного через сорбент до момента выравнивания концентраций, дм³; $m_{\text{сорбента}}$ – масса сорбента, г.

Методика исследования процесса десорбции ионов Cu(II) практически не отличалась от методики исследования процесса сорбции, в качестве десорбирующего реагента применяли раствор 5 н H_2SO_4 . После стадии десорбции сорбенты 1–4 отмывали от остатков кислоты дистиллированной водой объемом 300 мл. На каждом исследуемом сорбенте провели два цикла сорбции-десорбции.

Результаты и их обсуждение

Сорбционные свойства модифицированных опилок липы ранее (Дворянкин и др., 2023) нами были изучены лишь в статических условиях по отношению к ионам Cu(II) , данные по статической обменной емкости (COE) приведены в таблице. Представляемый в данном исследовании полный процесс адсорбции ионов Cu(II) нативными и модифицированными опилками липы (сорбенты 1–4) в динамических условиях включает два этапа: первый – сорбция ионов металла поверхностью и объемом сорбента, второй – десорбция ионов с помощью раствора 5 н H_2SO_4 . Наличие десорбционной активности опилок определяет возможность восстановления их адсорбционной способности и повторного использования. В экспериментах для повышения стабильности и воспроизводимости результатов в динамических условиях (Chatterjee,

Abraham, 2019) нами использовались опилки липы определенной фракции – 0,75–2,00 мм.

На рисунке показаны выходные кривые сорбции ионов Cu(II) исследуемыми сорбентами, в таблице представлены показатели эффективности циклов сорбции-десорбции.

Количество сорбированной меди нативными опилками (сорбент 1) при проведении этапа сорбции цикла 1 сорбции-десорбции составляет 4 мг/г, однако регенерацию сорбента с помощью 5 н H₂SO₄ не удалось осуществить. Стоит отметить, что при осуществлении этапа сорбции во 2-м цикле количество сорбированной меди снизилось лишь на 19 % от исходной емкости образца 1, и десорбции ионов Cu(II) также не происходит. Снижение обменной емкости обусловлено уменьшением количества в сорбенте карбоксильных и гидро-

ксильных групп, а также уплотнением его структуры и, следовательно, уменьшением доступности функциональных групп (Натареев и др., 2023). Динамическая обменная емкость не выше 3 мг/г наблюдалась только в 1-м цикле сорбции-десорбции. ПДОЕ второго цикла сорбции хотя и снизилась на 19 %, однако все равно превышает статическую обменную емкость в 1,3 раза.

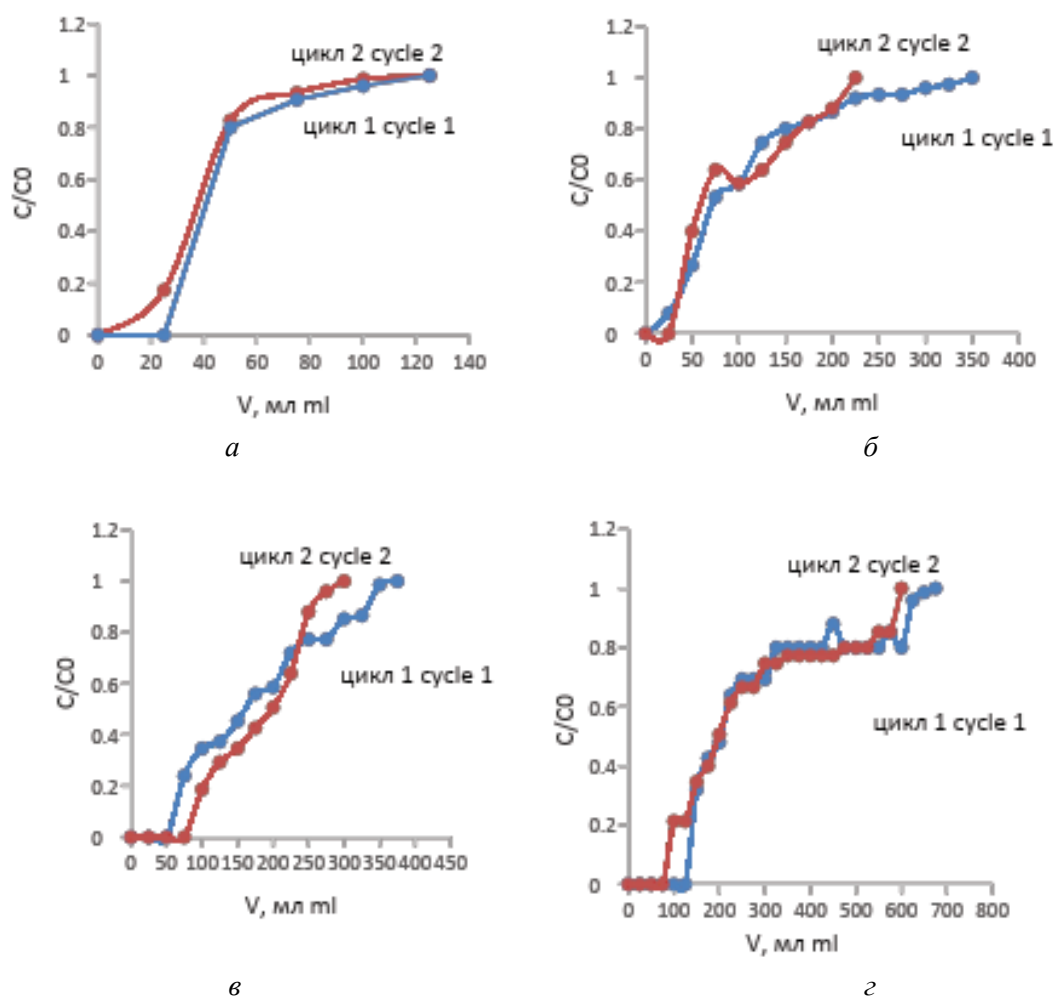
С помощью сорбента 2 удалось сконцентрировать в 1-м цикле 10,72 мг/г меди и провести десорбцию с эффективностью 67,91 % (см. таблицу). При проведении 2-го цикла сорбции количество сорбированной меди уменьшилось на 8,5 % (по сравнению с таковым в 1-м цикле сорбции), но регенерация образца 2 оказалась более эффективна и достигла 69,62 %.

Результаты исследования извлечения меди опилками липы

в динамических условиях

Results of the study of copper extraction by linden sawdust in fixed-bed column adsorption system

Показатели Functional parameters	Сорбенты Sorbents			
	1	2	3	4
COE, мг/г Static exchange capacity, mg/g	2,56	6,40	12,16	17,28
1-й цикл сорбции-десорбции ионов Cu(II) First cycle sorption-desorption of Cu(II) ions				
ДООЕ, мг/г Dynamic exchange capacity, mg/g	3,00	0	6,00	15,00
ПДОЕ, мг/г Total dynamic exchange capacity, mg/g	4	10,72	22,40	31,12
Масса десорбированной меди, мг Mass of desorbed metal ions, mg	0	7,28	18,30	26,40
Концентрация меди в фильтрате, мг/дм ³ Copper concentration in the filtrate, mg/dm ³	0	291,20	732,00	1056,00
Эффективность десорбции, % Desorption efficiency, %	0	67,91	81,66	84,83
2-й цикл сорбции-десорбции ионов Cu(II) Second cycle sorption-desorption of Cu(II) ions				
ДООЕ, мг/г Dynamic exchange capacity, mg/g	0	3,00	9,00	9,00
ПДОЕ, мг/г Total dynamic exchange capacity, mg/g	3,24	9,81	20,28	29,72
Масса десорбированной меди, мг Mass of desorbed metal ions, mg	0	6,83	16,22	24,28
Концентрация меди в фильтрате, мг/дм ³ Copper concentration in the filtrate, mg/dm ³	0	272,69	648,80	971,20
Эффективность десорбции, % Desorption efficiency, %	0	69,62	79,98	81,70



Выходные кривые сорбции ионов меди нативными и модифицированными опилками липы:

a – нативные опилки липы (сорбент 1); *б* – сорбент 2; *в* – сорбент 3; *г* – сорбент 4

Breakthrough curves for copper adsorption on original and modified linden sawdust:

a – original linden sawdust (sorberent 1); *б* – sorberent 2; *в* – sorberent 3; *г* – sorberent 4

ДОЕ для термически модифицированных опилок липы отмечена только во 2-м цикле сорбции. Стоит отметить, что извлечение ионов Cu(II) в динамических условиях проходит более эффективно, чем в статических: для сорбента 2 ПДОЕ в циклах превышает значение СОЕ в 1,5–1,7 раза. Концентрация ионов меди (II) в элюате 1-го цикла составила 291,2 мг/дм³, после 2-го цикла – 272,69 мг/дм³.

В результате химической модификации опилок липы с помощью раствора 5 н HNO_3 получен сорбент 3, позволяющий лучше в 5,6 раза, чем нативные опилки липы, концентрировать ионы Cu(II) в первом цикле сорбции и в 6,3 раза – на втором цикле сорбции, хотя абсолютная величина массы сорбированной меди уменьшилась на 9,5 %. В составе сорбентов присутствует достаточно большое

количество полярных кислотных групп, проявляющих электронодонорные свойства и способствующих образованию координационных связей с извлекаемым ионом металла (Салдадзе, Копылова-Валова, 1980). Значение ДОЕ для сорбента 3 во 2-м цикле в 1,5 раза больше, чем в первом. Эффективность десорбции во 2-м цикле по сравнению с таковой в 1-м цикле снижается незначительно (2 %).

Наибольшую степень концентрирования ионов Cu(II) продемонстрировал сорбент 4: в 1-м цикле сорбции – в 7,8 раза по сравнению с нативными опилками липы (сорбент 1), во 2-м цикле – в 9,2 раза. При этом, как и в случае применения сорбента 3, отмечено снижение абсолютной величины массы сорбированной меди на 8 %. Величина

ДОЕ в 1-м цикле (15 мг/г) указывает на возможность количественного селективного извлечения меди с помощью сорбента 4. Очевидно, что именно термохимическая модификация опилок липы (последовательно проведенные операции по обжигу опилок при 300 °С и после охлаждения по химической обработке раствором 5 н HNO₃) способствует формированию неоднородной поверхности и образованию активных центров (Aslam, Khan, 2022; Sutherland, Chittoo, 2024), участвующих в сорбционном извлечении ионов меди(II) и тем самым сохраняющих эффективность циклов сорбции-десорбции. Наблюдается отличие в сорбционном поведении этого образца во втором цикле сорбции, которое характеризуется уменьшением величины ДОЕ на 40 %, в то время как для сорбентов 2 и 3 отмечался рост значения этого показателя при повторной сорбции ионов Cu(II). Положительной характеристикой сорбента 4 стоит считать незначительное уменьшение эффективности десорбции за второй цикл – не выше 3,7 %. Концентрация ионов Cu(II) в растворе на выходе из колонки после десорбции достигает 1 г/л, что позволяет (Определение оптимальных условий..., 2016) рекомендовать электроэкстракцию для извлечения из него чистого металла.

Выводы

1. Проведена оценка сорбирующей способности модифицированных опилок липы и возможности их повторного использования в процессе удаления из водных сред ионов Cu(II).

2. Показано, что любой способ модификации, выбранный для обработки нативных опилок липы (термический, химический или термохимический), позволяет получить сорбционные материалы, величина ПДОЕ которых в 1-м цикле сорбции выше в 2,68–7,78 раза значений для исходного сырья и сохраняется на 90,5–95,5 % во 2-м цикле сорбции.

3. Эффективность десорбции ионов меди(II) раствором 5 н H₂SO₄ практически не снижается при повторном применении модифицированных опилок («потеря» не превышает 1,68–3,13 % от массы сорбированного металла) и достигает максимальной эффективности 84,83 % для сорбента, полученного в результате термохимической обработки опилок липы.

4. Концентрация ионов Cu(II) в растворе после десорбции достигает значения 1 г/л, оптимального для применения электроэкстракции с получением чистого металла.

Список источников

- Дворянкин Д. Ю., Первова И. Г., Клепалова И. А. Использование модифицированных древесных опилок в качестве сорбентов для очистки сточных вод от ионов Cu(II) // Столяровские чтения : матер. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию академика Д. П. Столярова, Санкт-Петербург, 05 октября 2023 года. СПб. : СПбНИИЛХ, 2023. С. 25–28. DOI: 10.21178/05102023.8
- Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Химия, 1971. 456 с.
- Натареев С. В., Захаров Д. Е., Рябиков А. А. Процессы ионообменной сорбции и десорбции ионов Cu²⁺ и Zn²⁺ на композиционном катионите // Российский химический журнал. 2023. Т. 67, № 2. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.6060/rcj.2023672.5>
- Определение оптимальных условий электроосаждения меди из сернокислых резкстрагирующих растворов в процессе производства печатных плат / В. Б. Трифонова, Е. С. Кондратьева, А. Ф. Губин [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 3. С. 26–27.
- Первова И. Г., Дворянкин Д. Ю. Исследование процесса сорбционного извлечения ионов Cu(II) модифицированными опилками липы // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий : матер. XVI Междунар. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 23 апреля 2025 года. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2025. С. 488–495.
- Салдадзе К. М., Копылова-Валова В. Д. Комплексообразующие иониты (комплекситы). М., 1980. 336 с.

- Углеродные сорбенты на основе отходов деревообработки как фильтрующие материалы для сорбционного извлечения ионов металлов / Д. Ю. Дворянкин, И. А. Веключ, И. Г. Первова [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 188–200. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.020
- Al-Jannbi M., Almansorry M.* The use of sawdust in the separation of copper from polluted water // IOP Conf-Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1184. Article 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/1184/1/012013
- Aslam M. A., Khan I.* Sawdust as an environmentally friendly adsorbent // New environmentally-friendly materials. 2022. Vol. 01. Issue 01. DOI: 10.55121/nefm.v1i1.862
- Balintova M., Demcak S., Pagacova B.* A study of sorption heavy metals by natural organic sorbents // International journal of energy and environment. 2016. Vol. 1. P. 189–194.
- Chatterjee A., Abraham J.* Desorption of heavy metals from metal loaded sorbents and e-wastes : A review // Biotechnology Letters. 2019. Vol. 41. Issue 3. P. 319–333. DOI: 10.1007/s10529-019-02650-0
- Chemical modifications of lignocellulosic materials and their application for removal of cations and anions from aqueous solutions / D. Q. Melo, V. O. Sousa Neto, F. C. F. Barros [et al.] // Journal of Applied Polymer Science. 2016. Article 43286. URL: https://www.researchgate.net/publication/288074052_Chemical_modifications_of_lignocellulosic_materials_and_their_application_for_removal_of_cations_and_anions_from_aqueous_solutions (accessed 15.02.2026). DOI: 10.1002/app.43286
- Meez E., Rahdar A., Kyzas G. Z.* Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review // Molecules. 2021. Vol. 26. Article 4318. URL: https://www.researchgate.net/publication/353298682_Sawdust_for_the_Removal_of_Heavy_Metals_from_Water_A_Review (accessed 15.02.2026). DOI: 10.3390/molecules26144318
- Notzir N. H., Masngut M. I., Louis S. R.* Physical structures and adsorption efficiencies of sugarcane bagasse, coconut pulp and sawdust as natural adsorbents in removal of heavy metals from car wash activity // Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences. 2022. Vol. 18 (SUPP15). P. 108–116. DOI: 10.47836/mjmhs18.s15.15
- Sawdust-based adsorbents for water treatment: an assessment of their potencial and challenges in heavy metal adsorption / L. A. Torres-Castañón, A. Robledo-Peralta, C. Antileo [et al.] // Journal of Hazardous Materials Advances. 2025. Vol. 18. Article 100758. URL: https://www.researchgate.net/publication/391942385_Sawdust-based_adsorbents_for_water_treatment_An_assessment_of_their_potential_and_challenges_in_heavy_metal_adsorption (accessed 15.02.2026). DOI: 10.1016/j.hazadv.2025.100758
- Sawdust-biomass based materials for sequestration of organic and inorganic pollutants and potential for engineering applications / K. A. Adegoke, O. O. Adesina, O. A. Okon-Akan [et al.] // Current Research in Green and Sustainable Chemistry. 2022. Vol. 5. Article 100274. URL: https://www.researchgate.net/publication/358173456_Sawdust-biomass_based_materials_for_sequestration_of_organicinorganic_pollutants_and_potential_for_engineering_applications (accessed 15.02.2026). DOI: 10.1016/j.crgsc.2022.100274
- Sutherland C., Chitto B. S.* Recent developments in the application of sawdust as biosorbent for heavy metal cations: a mini-review // Materials International. 2024. Vol. 6. Issue 1. Article 3. URL: <https://materials.international/wp-content/uploads/2025/01/Materials61.003.pdf> (accessed 15.02.2026). DOI: 10.33263/Materials61.003
- The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water / A. Shukla, Yu.-H. Zhang, P. Dubey [et al.] // Journal of hazardous materials. 2002. Вып. 95. P. 137–152.
- Using of wooden sawdust for copper removal from waters / S. Demcak, M. Balintova, M. Demcakova [et al.] // Nova Biotechnol Chim. 2019. Vol. 18. Issue 1. P. 66–71. DOI: 10.2478/nbec-2019-0009
- Utilizing adsorption of wood and its derivatives as an emerging strategy for the treatment of heavy metal-contaminated wastewater / J. Jiang, Y. Shi, N. L. Ma [et al.] // Environmental Pollution. 2024. Vol. 340. Article 122830. URL: https://www.researchgate.net/publication/375137988_Utilizing_adsorption_of_

wood_and_its_derivatives_as_an_emerging_strategy_for_the_treatment_of_heavy_metal-contaminated_wastewater (accessed 15.02.2026). DOI: 10.1016/j.envpol.2023.122830

Witek-Krowiak A. Application of beech sawdust for removal of heavy metals from water: biosorption and desorption studies // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2013. Vol. 71. P. 227–236. DOI: 10.1007/s00107-013-0673-8

References

- Al-Jannbi M., Almansory M. The use of sawdust in the separation of copper from polluted water // *IOP Conf-Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1184. Article 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/1184/1/012013
- Aslam M. A., Khan I. Sawdust as an environmentally friendly adsorbent // *New environmentally-friendly materials*. 2022. Vol. 01. Issue 01. DOI: 10.55121/nefm.v1i1.862
- Balintova M., Demcak S., Pagacova B. A study of sorption heavy metals by natural organic sorbents // *International journal of energy and environment*. 2016. Vol. 1. P. 189–194.
- Carbon sorbents based on wood processing waste as filter materials for the sorption extraction of metal ions / D. Yu. Dvoryankin, I. A. Veklyuch, I. G. Pervova [et al.] // *Forests of Russia and economy in them*. 2024. № 4 (91). P. 188–200. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.020 (In Russ.)
- Chatterjee A., Abraham J. Desorption of heavy metals from metal loaded sorbents and e-wastes : A review // *Biotechnology Letters*. 2019. Vol. 41. Issue 3. P. 319–333. DOI: 10.1007/s10529-019-02650-0
- Chemical modifications of lignocellulosic materials and their application for removal of cations and anions from aqueous solutions / D. Q. Melo, V. O. Sousa Neto, F. C. F. Barros [et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. 2016. Article 43286. URL: https://www.researchgate.net/publication/288074052_Chemical_modifications_of_lignocellulosic_materials_and_their_application_for_removal_of_cations_and_anions_from_aqueous_solutions (accessed 15.02.2026). DOI: 10.1002/app.43286
- Determination of optimal conditions for copper electrodeposition from sulfuric acid stripping solutions in the process of printed circuit board production / V. B. Trifonova, E. S. Kondratieva, A. F. Gubin [et al.] // *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2016. № 3. P. 26–27. (In Russ.)
- Dvoryankin D. Yu., Pervova I. G., Klepalova I. A. Use of modified wood sawdust as sorbents for wastewater treatment from Cu(II) ions // *Stolyarov Readings: Proceedings of the scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of Academician D. P. Stolyarov*, St. Petersburg, October 5, 2023. St. Petersburg : SPbNIIH, 2023. P. 25–28. DOI: 10.21178/05102023.8 (In Russ.)
- Lurie Yu. Yu. *Handbook of Analytical Chemistry*. Moscow : Chemistry, 1971. 456 p.
- Meez E., Rahdar A., Kyzas G. Z. Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review // *Molecules*. 2021. Vol. 26. Article 4318. URL: https://www.researchgate.net/publication/353298682_Sawdust_for_the_Removal_of_Heavy_Metals_from_Water_A_Review (accessed 15.02.2026). DOI: 10.3390/molecules26144318
- Natareev S. V., Zakharov D. E., Ryabikov A. A. Processes of ion-exchange sorption and desorption of Cu²⁺ and Zn²⁺ ions on a composite cation exchanger // *Russian Chemical Journal*. 2023. Vol. 67, № 2. P. 45–51. DOI: 10.6060/rcj.2023672.5 (In Russ.)
- Notzir N. H., Masngut M. I., Louis S. R. Physical structures and adsorption efficiencies of sugarcane bagasse, coconut pulp and sawdust as natural adsorbents in removal of heavy metals from car wash activity // *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*. 2022. Vol. 18 (SUPP15). P. 108–116. DOI: 10.47836/mjmh18.s15.15
- Pervova I. G., Dvoryankin D. Yu. Study of the process of sorption extraction of Cu(II) ions by modified linden sawdust // *An effective response to modern challenges taking into account the interaction of man and*

nature, man and technology : Proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference, Yekaterinburg, April 23, 2025. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2025. P. 488–495. (In Russ.)

Saldadze K. M., Kopylova-Valova V. D. Complexing ion exchangers (complexites). Moscow, 1980. 336 p.

Sawdust-based adsorbents for water treatment: an assessment of their potencial and challenges in heavy metal adsorption / *L. A. Torres-Castañón, A. Robledo-Peralta, C. Antileo* [et al.] // *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2025. Vol. 18. Article 100758. URL: https://www.researchgate.net/publication/391942385_Sawdust-based_adsorbents_for_water_treatment_An_assessment_of_their_potential_and_challenges_in_heavy_metal_adsorption (accessed 15.02.2026). DOI:10.1016/j.hazadv.2025.100758

Sawdust-biomass based materials for sequestration of organic and inorganic pollutants and potential for engineering applications / *K. A. Adegoke, O. O. Adesina, O. A. Okon-Akan* [et al.] // *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 2022. Vol. 5. Article 100274. URL: https://www.researchgate.net/publication/358173456_Sawdust-biomass_based_materials_for_sequestration_of_organicinorganic_pollutants_and_potential_for_engineering_applications (accessed 15.02.2026). DOI: 10.1016/j.crgsc.2022.100274

Sutherland C., Chittoo B. S. Recent developments in the application of sawdust as biosorbent for heavy metal cations: a mini-review // *Materials International*. 2024. Vol. 6. Issue 1. Article 3. URL: <https://materials.international/wp-content/uploads/2025/01/Materials61.003.pdf> (accessed 15.02.2026). DOI: 10.33263/Materials61.003

The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water / *A. Shukla, Yu.-H. Zhang, P. Dubey* [et al.] // *Journal of hazardous materials*. 2002. B. 95. P. 137–152.

Using of wooden sawdust for copper removal from waters / *S. Demcak, M. Balintova, M. Demcakova* [et al.] // *Nova Biotechnol Chim*. 2019. Vol. 18. Issue 1. P. 66–71. DOI: 10.2478/nbec-2019-0009

Utilizing adsorption of wood and its derivatives as an emerging strategy for the treatment of heavy metal-contaminated wastewater / *J. Jiang, Y. Shi, N. L. Ma* [et al.] // *Environmental Pollution*. 2024. Vol. 340. Article 122830. URL: https://www.researchgate.net/publication/375137988_Utilizing_adsorption_of_wood_and_its_derivatives_as_an_emerging_strategy_for_the_treatment_of_heavy_metal-contaminated_wastewater (accessed 15.02.2026). DOI: 10.1016/j.envpol.2023.122830

Witek-Krowiak A. Application of beech sawdust for removal of heavy metals from water: biosorption and desorption studies // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2013. Vol. 71. P. 227–236. DOI: 10.1007/s00107-013-0673-8

Информация об авторах

Д. Ю. Дворянкин – студент;

И. А. Клепалова – старший преподаватель;

И. Г. Первова – доктор химических наук, доцент.

Information about the authors

D. Yu. Dvoryankin – student, Ural State Forest Engineering University;

I. A. Klepalova – Senior Lecturer;

I. G. Pervova – Doctor of Chemistry, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 16.02.2026; принята к публикации 26.07.2026.

The article was submitted 16.02.2026; accepted for publication 26.07.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 173–1816.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 173–181.

Научная статья

УДК 630.817.8:66.095.3

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.017

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАУРЕТСУЛЬФАТА НАТРИЯ В ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВАХ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Максим Наильевич Тухбатулин¹, Алексей Евгеньевич Шкуро²,
Татьяна Валерьевна Якубова³

^{1,3} Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ tuchbatulin93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4586-1143>

² shkuroae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

³ tatanaakubova71723@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1880-8368>

Аннотация. Исследовано влияние лауретсульфата натрия в качестве модификатора огнезащитных пропиточных растворов на основе солей аммония и тетрабората на характеристики древесины. Установлена количественная зависимость смачиваемости, кинетики капиллярного впитывания и огнестойкости пропитанной древесины от концентрации лауретсульфата натрия (0–0,20 мас. %). Показано, что добавление поверхностно-активного вещества существенно снижает краевой угол смачивания (до 57–58° при 0,10–0,15 %) и увеличивает глубину капиллярного подъема (максимум 20,67 мм при 0,15 %). При этом эффективность огнезащиты, оцениваемая по потере массы образца при горении, имеет экстремум при концентрации лауретсульфата натрия 0,07 мас. %, что на 3,1 % лучше контроля. Выявленное расхождение оптимальных концентраций для капиллярного впитывания (0,15 %) и огнестойкости (0,07 %) указывает на необходимость комплексного подхода при разработке составов. Результаты доказывают целесообразность применения лауретсульфата натрия для балансирования технологичности пропитки и эксплуатационных свойств огнезащитного покрытия древесины.

Ключевые слова: древесина, снижение горючести, антипирены, пропиточный раствор, ПАВ, лауретсульфат натрия, огневая труба

Для цитирования: Тухбатулин М. Н., Шкуро А. Е., Якубова Т. В. Применение лауретсульфата натрия в огнезащитных пропиточных составах для древесины // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 173–181.

Original article

APPLICATION OF SODIUM LAURETH SULFATE IN FIRE RETARDANT IMPREGNATION COMPOSITION FOR WOOD

Maxim N. Tukhbatulin¹, Alexey E. Shkuro², Tatiana V. Yakubova³

^{1,3} Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

² Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ tuchbatulin93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4586-1143>

² shkuroae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

³ tatanaakubova71723@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-1880-8368>

Abstract. The effect of sodium laureth sulfate as a modifier of fire retardant impregnating solutions based on ammonium salts and tetraborate on the characteristics of wood was researched. A quantitative dependence of wettability, capillary absorption kinetics, and fire resistance of impregnated wood on the concentration of sodium laureth sulfate (0–0,20 wt. %) was established. It was shown that the addition of a surfactant significantly reduces the contact angle (to 57–58° at 0,10–0,15 %) and increases the capillary rise depth (maximum 20,67 mm at 0,15 %). Moreover, the fire protection efficiency, assessed by the sample mass loss during combustion, has an extremum at a sodium laureth sulfate concentration of 0,07 wt. %, which is 3,1 % better than the reference value. The observed discrepancy between the optimal concentrations for capillary absorption (0,15 %) and fire resistance (0,07 %) indicates the need for an integrated approach when developing formulations. The results demonstrate the feasibility of using sodium laureth sulfate to balance the processability of impregnation and the performance properties of fire-retardant wood coatings.

Keywords: wood, flammability reduction, fire retardants, impregnation solution, surfactant, sodium laureth sulfate, fire tube

For citation: Tukhbatulin M. N., Shkuro A. E., Yakubova T. V. Application of sodium laureth sulfate in fire retardant impregnation composition for wood // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 173–181.

Введение

Древесина сохраняет свою значимость в строительстве и промышленности благодаря комплексу преимущественных характеристик, включая возобновляемость, низкую энергоёмкость переработки, высокий удельный предел прочности, а также способность регулировать влажность в помещениях за счёт гигроскопичности (Страшнов, 2008; Чирков и др., 2021). Однако высокая горючесть, обусловленная лигноцеллюлозной природой материала, ограничивает его применение в ответственных конструкциях. При термическом воздействии происходит интенсивное выделение летучих продуктов пиролиза, что требует обязательной огнезащитной обработки (Абдукадилов и др., 2025, Акинин и др., 2013; Ахраров и др., 2017; Дорожкин, Гончаров, 2018; Кухарев, 2015).

Современные нормы пожарной безопасности предъявляют комплексные требования к материалам: помимо снижения воспламеняемости, необходимо подавление дымообразования, замедление распространения пламени и перевод древесины в категорию трудногорючих материалов (Газизов и др., 2025; Петрова, 2011; Оптимизация рецептуры..., 2025). Наиболее эффективным методом является глубокая пропитка антипиренами, среди которых составы на основе фосфатов аммония демонстрируют оптимальное сочетание глубины проникновения, долговечности и экологической безопасности (Покровская, Портнов, 2015). Ключевым условием формирования эффективного термозащитного барьера является равномерное распределение антипирена по всей капиллярно-пористой структуре древесины.

Для повышения эффективности пропитки перспективным направлением является модификация пропиточных растворов поверхностно-активными веществами (ПАВ). Снижая поверхностное натяжение и краевой угол смачивания, ПАВ способствуют усилению капиллярного подсоса и более глубокому проникновению активных компонентов в материал (Тухбатулин и др., 2025). В этой связи актуальной задачей является поиск оптимального баланса между типом и концентрацией ПАВ, обеспечивающего максимальное улучшение реологических свойств раствора без негативного влияния на огнезащитную эффективность конечного состава. Решение данной задачи позволит разработать более действенные пропиточные системы, способствующие расширению безопасного применения древесины в контексте принципов устойчивого развития.

Особый интерес в качестве модификатора пропиточных растворов представляет лауретсульфат натрия (ЛЭСН, Sodium Laureth Sulfate, SLES) – анионное ПАВ, представляющее собой смесь моно- и диэфиров серной кислоты с полиоксиэтилированным лауриловым спиртом (в среднем 2–3 звена оксиэтилена) в форме натриевой соли. Структурная формула лауретсульфата натрия представлена на рис. 1 (Тухбатулин и др., 2025).

Ключевым преимуществом лауретсульфата перед лаурилсульфатом является уменьшенная агрессивность к биологическим тканям и ма-

териалам при сохранении высокой эффективности снижения поверхностного натяжения (до 30–35 мН/м при концентрациях выше критической концентрации мицеллообразования, ККМ $\approx 0,01...0,03$ мас. % в водных растворах). Полиоксиэтиленовый фрагмент обеспечивает повышенную устойчивость к жесткости воды и совместимость с другими компонентами многофункциональных составов, включая полимерные связующие и соли, применяемые в огнезащитных пропитках. Благодаря гибкой молекулярной структуре лауретсульфат демонстрирует выраженную способность к адсорбции на границе раздела фаз раствор – твердое тело, что способствует улучшению смачиваемости пористых материалов, включая древесину и текстиль (El-Dossoki et al., 2019; Sodium lauryl..., 2017; Тухбатулин и др., 2025).

В отличие от лаурилсульфата лауретсульфат менее подвержен десорбции в процессе сушки пропитанного материала, что способствует формированию более стабильного распределения активных компонентов в поровой структуре (Sub-clinical..., 2001). Эти особенности делают лауретсульфат перспективным модификатором для огнезащитных и функциональных пропиток, где требуется баланс между технологичностью нанесения и эксплуатационными характеристиками материала.

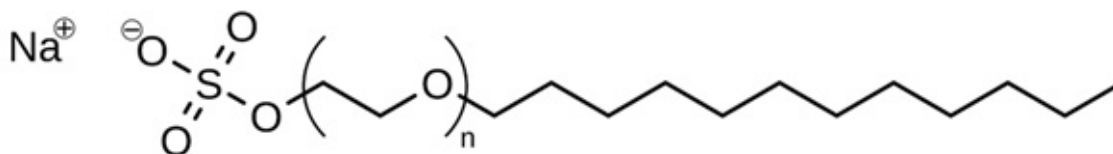


Рис. 1. Структурная формула лауретсульфата натрия

Fig. 1. Structural formula of sodium laureth sulfate

Цель, объекты и методика исследования

Целью работы является установление количественной зависимости между концентрацией лауретсульфата натрия в огнезащитном пропиточном растворе и комплексом функциональных характеристик обработанной древесины – смачиваемостью, кинетикой капиллярного впитывания

и огнестойкостью – с целью определения оптимальной дозировки ПАВ, обеспечивающей баланс между технологичностью пропитки и эксплуатационными свойствами защитного покрытия.

В качестве основных действующих компонентов огнезащитных пропиточных растворов в настоящем исследовании использовали однозамещенный фосфат аммония (ГОСТ 3771–74)

и тетраборат натрия (ГОСТ 8429–77). В качестве ПАВ применяли лауретсульфат натрия марки Техарон № 70, предоставленный ООО Asmago (г. Екатеринбург). Рецептуры исследованных пропиточных растворов для древесины приведены в таблице.

Стандартные образцы древесины сосны, предварительно высушенные до постоянной массы, пропитывали в полученных огнезащитных растворах. Пропитку проводили путем выдерживания образцов в растворе в течение 24 ч. После извлечения поверхность образцов промокали хлопчатобумажной тканью для удаления избытка раствора и взвешивали на лабораторных весах. Завершающим этапом была воздушная сушка образцов в течение 7 сут при комнатной температуре.

Для определения эффективности действия лауретсульфата натрия проводились испытания на установке «огневая труба» (рис. 2) по ГОСТ Р 53292–2009. Сущность метода заключается в определении показателя потери массы после прямого воздействия пламени. Изменение массы

(P_i , %) образцов древесины после проведения испытаний определяли по формуле

$$P_i = \frac{(m_{i1} - m_{i2})}{m_{i1}} 100, \quad (1)$$

где m_{i1} – масса образца до испытания, г;

m_{i2} – масса образца после испытания, г.

Полученные результаты округляли до 0,1 %.

Кинетику капиллярного впитывания пропиточных растворов исследовали на образцах древесины сосны обыкновенной (размер 3×115 мм). Образцы закрепляли вертикально в чашках Петри пластмассовыми зажимами, обеспечивая погружение нижнего торца на глубину $6,0 \pm 0,5$ мм в раствор объемом 40 мл. Эксперимент проводили в течение 24 ч при стабильной температуре 25 ± 1 °С, контролируя уровень раствора. Положение фронта пропитки регистрировали с точностью $\pm 0,05$ мм штангенциркулем через заданные промежутки времени в течение 24 ч. Краевой угол смачивания определяли по методу сидячей капли, при этом в качестве подложки использовался полиэтилен высокой плотности.

Рецептуры исследованных огнезащитных составов
Formulations of the studied fire-retardant compounds

№ No	Содержание компонента в растворе, мас. % Content of the component in the solution, wt. %			Концентрация лауретсульфата натрия, % (от массы раствора) Sodium laureth sulfate concentration, % (by solution weight)
	Фосфат аммония однозамещенный Monoammonium phosphate	Тетраборат натрия (ГОСТ 8429–77) Sodium tetraborate (GOST 8429–77)	Вода Water	
1	–	–	100,00	–
2	16,32	2,04	81,64	–
3				0,01
4				0,05
5				0,10
6				0,15

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлена зависимость краевого угла смачивания пропиточных растворов от массовой доли лауретсульфата натрия. Экспериментальные данные демонстрируют четкую обратную корреляцию между концентрацией ПАВ и краевым углом. В отсутствие лауретсульфата угол смачивания составляет 70°, что характеризует

умеренную смачиваемость поверхности. Уже при концентрации 0,05 мас. % наблюдается снижение угла до 60°, а при 0,10 мас. % достигается минимальное значение – 58°. Дальнейшее увеличение содержания лауретсульфата до 0,15 мас. % приводит к стабилизации угла на уровне 57–58°, что свидетельствует о насыщении эффекта.

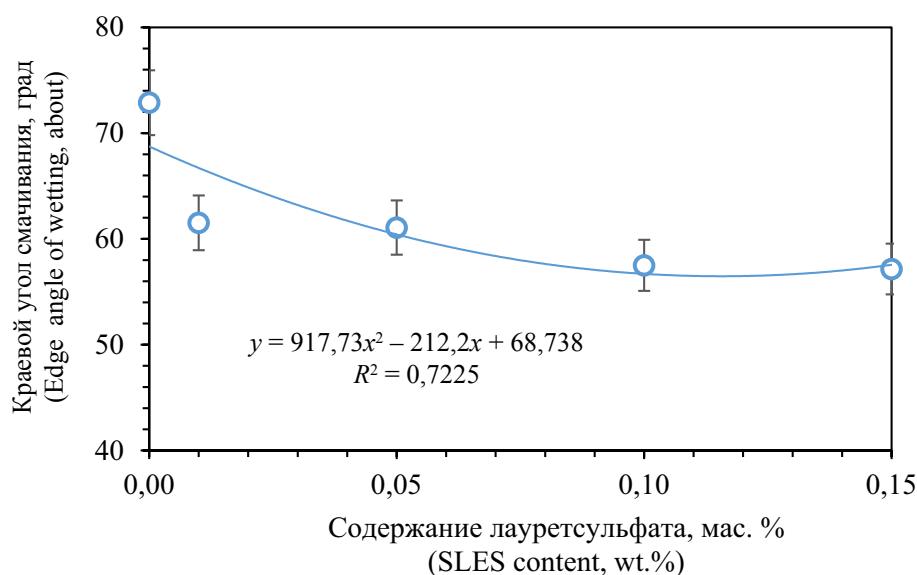


Рис. 2. Краевой угол смачивания пропиточных растворов с различным содержанием лауретсульфата натрия

Fig. 2. Contact angle of impregnation solutions with different sodium laureth sulfate SLES content

Физико-химическая интерпретация полученной зависимости основана на свойствах лауретсульфата как анионного ПАВ. Снижение краевого угла обусловлено адсорбцией молекул лауретсульфата на границе раздела фаз раствор – твердое тело, что приводит к уменьшению поверхностного натяжения жидкости и, как следствие, к улучшению ее способности к растеканию и проникновению внутрь образца древесины. Фиксируемое плато при концентрациях свыше 0,10 мас. % связано с достижением критической концентрации мицеллообразования: избыток молекул ПАВ агрегируется в мицеллы в объеме раствора и уже не приводит к дальнейшему снижению поверхностного натяжения и уменьшению краевого угла.

На рис. 3 представлена кинетика капиллярного впитывания пропиточных растворов в образцы древесины. График рис. 3,а демонстрирует сравнение поведения дистиллированной воды и огнезащитного состава без добавления лауретсульфата натрия. Вода характеризуется интенсивным начальным подъемом в течение первых 500 мин, после чего скорость впитывания замедляется, и к концу эксперимента (1500 мин) высота столба достигает 25,67 мм. Огнезащитный состав без лауретсульфата демонстрирует значительно более низкую способность к капиллярному подъ-

ему: максимальная высота столба составляет лишь 14,67 мм, что на 43 % ниже показателя воды. При этом кривая впитывания огнезащитного состава (ОЗС) без лауретсульфата выходит на плато уже к 800–1000 мин, что указывает на ограниченную смачиваемость поверхности вследствие высокого поверхностного натяжения раствора.

График рис. 3,б отражает влияние концентрации лауретсульфата на кинетику капиллярного подъема огнезащитных составов. Во всех случаях наблюдается характерный двухстадийный процесс: быстрый начальный рост высоты столба в течение первых 300–500 мин с последующим замедлением и выходом на стационарное состояние. Минимальную высоту подъема (16,33 мм) демонстрирует состав с содержанием лауретсульфата 0,01 мас.%. Добавление лауретсульфата в концентрации 0,05 и 0,10 мас.% приводит к незначительному увеличению высоты столба до 17,33 мм. Наиболее выраженный эффект наблюдается при концентрации лауретсульфата 0,15 мас. %: высота капиллярного подъема достигает 20,67 мм, что на 41 % превышает показатель ОЗС без лауретсульфата и на 26 % для состава с 0,01 % лауретсульфата. При этом кривая для 0,15 % лауретсульфата сохраняет положительный наклон на всем протяжении эксперимента, не достигая насыщения к 1500 мин.

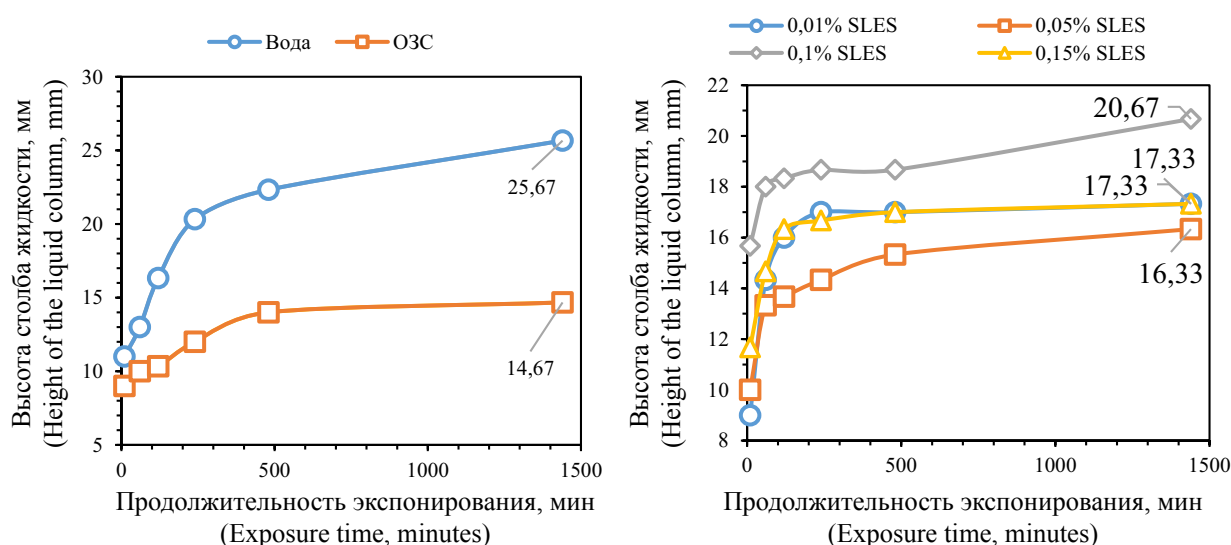


Рис. 3. Кинетика капиллярного впитывания составов:
 а – воды и пропиточного огнезащитного раствора без лауретсульфата;
 б – огнезащитных растворов с различным содержанием лауретсульфата
 Fig. 3. Kinetics of capillary absorption of compounds:
 а – water and a fire-retardant solution without lauryl sulfate;
 б – fire-resistant solutions with different lauryl sulfate content

Сравнение с данными по краевому углу смачивания позволяет сделать вывод о различной чувствительности статических (краевой угол смачивания) и динамических (капиллярный подъем) характеристик к концентрации ПАВ. Если снижение краевого угла стабилизируется при концентрации лауретсульфата ~ 0,10 мас. %, то кинетика впитывания продолжает улучшаться вплоть до 0,15 мас. %, что может быть обусловлено дополнительными факторами – снижением эффективной вязкости раствора, изменением структуры мицелл при концентрациях выше критической или синергетическим взаимодействием лауретсульфата с другими компонентами огнезащитного состава. Тем не менее даже оптимизированный состав с 0,15 % лауретсульфата уступает по высоте капиллярного подъема воде на 20 %, что свидетельствует о влиянии других компонентов ОЗС на реологические свойства раствора.

На рис. 4 показана зависимость потери массы древесных образцов после огневых испытаний от концентрации лауретсульфата натрия в составе пропиточного раствора. Уменьшение потери массы в интервале 0–0,07 мас. % лауретсульфата связано с повышением смачиваемости и более равномерным распределением раствора в пористой

структуре древесины, что способствует формированию эффективного защитного барьера при термическом воздействии. При превышении данной концентрации наблюдается противоположная тенденция, что, вероятно, обусловлено избыточным мицеллообразованием ПАВ, возможным снижением адгезии функциональных компонентов и нарушением целостности формирующегося защитного слоя.

Установлено, что оптимальные концентрации лауретсульфата различаются в зависимости от рассматриваемого показателя. Для минимизации потери массы при горении наилучший результат достигается при концентрации около 0,07 мас. %, тогда как для обеспечения максимального капиллярного подъема более предпочтительной является концентрация 0,15 мас. %. Это свидетельствует о необходимости комплексной оптимизации состава пропиточных растворов с учетом как технологических параметров обработки, так и требований к эксплуатационным характеристикам материала. Показано, что введение лауретсульфата в количестве 0,07 мас. % снижает потерю массы древесины при горении примерно на 3,1 % по сравнению с ОЗС, не содержащим ПАВ.

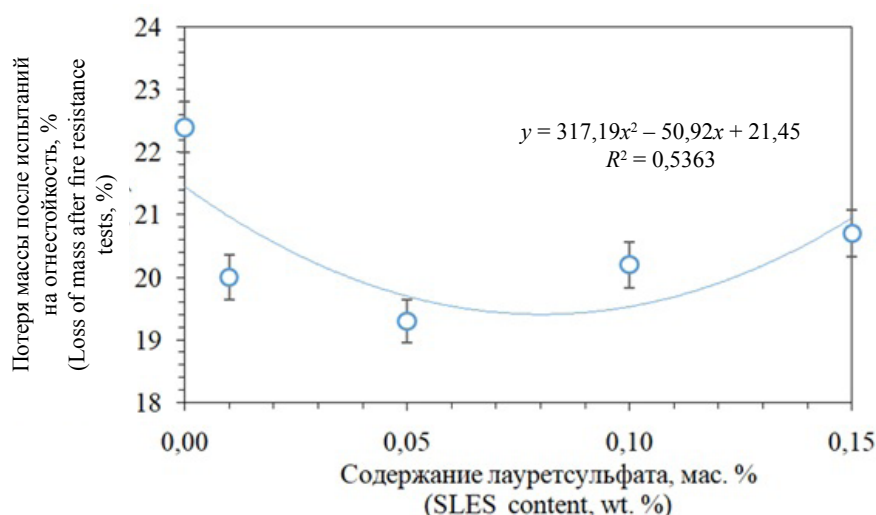


Рис. 4. Потеря массы образцами древесины после испытаний на горючесть
Fig. 4. Weight loss of wood samples after flammability tests

Выводы

1. Экспериментальные данные демонстрируют нелинейное влияние концентрации лауретсульфата натрия на ключевые характеристики пропиточных растворов. Для кинетики капиллярного впитывания оптимальная концентрация лауретсульфата составляет 0,15 мас.%, обеспечивая максимальную высоту подъема (20,67 мм), что на 41 % превышает показатель раствора без ПАВ.

2. В то же время для минимизации потери массы при горении оптимум смещен в область 0,07 мас.%. Такое расхождение объясняется различной чувствительностью статических (огнестойкость) и динамических (капиллярный подъем)

процессов к концентрации ПАВ: при высоких концентрациях лауретсульфата (>0,07 мас.%) избыточные мицеллы нарушают структуру защитного слоя, ухудшая огнезащитные свойства, но продолжают улучшать смачиваемость.

3. Полученные результаты подтверждают необходимость дифференцированного подхода к оптимизации состава растворов, учитывающего как технологические, так и эксплуатационные требования. Точная дозировка лауретсульфата позволяет достичь баланса между равномерной пропиткой и высокой огнестойкостью, что критично для промышленного применения.

Список источников

- Абдукадиров Ф. Б., Сивенков А. Б., Мухамедгалиев Б. А. Исследование процесса и режимов горения огнезащищенных деревянных конструкций // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 6. С. 41–46. DOI: 10.31044/1994-6260-2025-0-6-41-46
- Акинин Н. И., Мельников Н. О., Максименко С. А. Вопросы снижения пожарной опасности древесины // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. № 3 (25). С. 28–31.
- Ахраров Б. Б., Алламуратов М. У., Мухамедгалиев Б. А. Исследование горения огнезащищенных древесных материалов, модифицированных полимерными антипиренами // Пластические массы. 2017. № 1–2. С. 37–39.
- Газизов А. А., Газизов А. М., Галиев Р. Р. Жидкое стекло и кремнеземный порошок как основа для защиты древесины от огня // Системы. Методы. Технологии. 2025. № 2 (66). С. 109–114. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-109-114
- ГОСТ 3771–74. Реактивы. Аммоний фосфорнокислый однозамещенный. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1974. 12 с.
- ГОСТ 8429–77. Бура. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1977. 9 с.

- ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2009. 19 с.
- Дорожкин А. С., Гончаров С. М. Огнезащита строительных конструкций // Судостроение. 2018. № 2 (839). С. 58–62.
- Кухарев В. Структурно-модифицированная древесина // Наноиндустрия. 2015. № 6 (60). С. 76–83.
- Оптимизация рецептуры огнезащитного пропиточного состава для древесины / М. Н. Тухбатулин, А. Е. Шкуро, Т. В. Якубова, М. А. Красильникова // Деревообрабатывающая промышленность. 2025. № 3. С. 30–38.
- Петрова Е. А. Снижение горючести древесины // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 59–61.
- Покровская Е. Н., Портнов Ф. А. Огнебиозащитный состав для древесины с эффективными дымогасящими компонентами // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 106–114.
- Страинов А. В. Строительство деревянных домов: вековые традиции и современные технологии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 4 (111). С. 14–16.
- Тухбатулин М. Н., Шкуро А. Е., Якубова Т. В. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на эффективность действия огнезащитных пропиточных растворов для древесины // Системы. Методы. Технологии. 2025. № 4 (68). С. 132–137. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-4-132-137
- Чирков И. А., Кантеева Е. В., Пономаренко Л. В. Обзор строительных материалов из склеенной древесины // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика : матер. Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 17 июня 2021 года. Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. ун-т им. Г. Ф. Морозова, 2021. С. 379–385. DOI: 10.34220/MMEITSIC2021_379-385
- El-Dossoki F. I., Gomaa E. A., Hamza O. A. Solvation thermodynamic parameters for sodium dodecyl sulfate (SDS) and sodium lauryl ether sulfate (SLES) surfactants in aqueous and alcoholic-aqueous solvents // SN Applied Sciences. 2019. Vol. 1. Article 879. URL: https://www.academia.edu/77442137/Solvation_thermodynamic_parameters_for_sodium_dodecyl_sulfate_SDS_and_sodium_lauryl_ether_sulfate_SLES_surfactants_in_aqueous_and_alcoholic_aqueous_solvents (accessed 10.02.2026). DOI: 10.1007/s42452-019-0974-6
- Sodium lauryl ether sulfate (SLES) degradation by nitrate-reducing bacteria / A. M. S. Paulo, R. Aydin, M. R. Dimitrov [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. 2017. Vol. 101. P. 5163–5173. DOI: 10.1007/s00253-017-8212-x
- Sub-clinical, non-erythematous irritation with an open assay model (washing): Sodium lauryl sulfate (SLS) versus sodium laureth sulfate (SLES) / V. Charbonnier, B. M. Morrison, M. Paye, H. I. Maibach // Food and Chemical Toxicology. 2001. Vol. 39, № 3. P. 279–286. DOI: 10.1016/S0278-6915(00)00132-0

References

- Abdukadirov F. B., Sivenkov A. B., Mukhamedgaliev B. A. Study of the process and modes of combustion of fire-protected wooden structures // All materials. Encyclopedic reference. 2025. № 6. P. 41–46. DOI: 10.31044/1994-6260-2025-0-6-41-46 (In Russ.)
- Akhrarov B. B., Allamuratov M. U., Mukhamedgaliev B. A. Study of combustion of fire-protected wood materials modified with polymer flame retardants // Plastics. 2017. № 1–2. P. 37–39. (In Russ.)
- Akinin N. I., Melnikov N. O., Maksimenko S. A. Issues of reducing the fire hazard of wood // Vector of Science of Togliatti State University. 2013. № 3 (25). P. 28–31. (In Russ.)
- Chirkov I. A., Kantieva E. V., Ponomarenko L. V. Review of building materials from glued wood // Modern machines, equipment and IT solutions for the forestry complex : theory and practice: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, June 17, 2021. Voronezh : Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2021. P. 379–385. DOI: 10.34220/MMEITSIC2021_379-385 (In Russ.)

- Dorozhkin A. S., Goncharov S. M. Fire protection of building structures // Shipbuilding. 2018. № 2 (839). P. 58–62. (In Russ.)
- El-Dossoki F. I., Goma A. E., Hamza O. A. Solvation thermodynamic parameters for sodium dodecyl sulfate (SDS) and sodium lauryl ether sulfate (SLES) surfactants in aqueous and alcoholic-aqueous solvents // SN Applied Sciences. 2019. Vol. 1. Article 879. URL: https://www.academia.edu/77442137/Solvation_thermodynamic_parameters_for_sodium_dodecyl_sulfate_SDS_and_sodium_lauryl_ether_sulfate_SLES_surfactants_in_aqueous_and_alcoholic_aqueous_solvents (accessed 10.02.2026). DOI: 10.1007/s42452-019-0974-6
- Gazizov A. A., Gazizov A. M., Galiev R. R. Liquid glass and silica powder as a basis for protecting wood from fire // Systems. Methods. Technologies. 2025. № 2 (66). P. 109–114. DOI: 10.18324/2077-5415-2025-2-109-114 (In Russ.)
- GOST 3771–74. Reagents. Ammonium dihydrogen orthophosphate Specifications. Moscow : Publishing House of Standards, 1974. 12 p.
- GOST 8429–77. Borax. Specifications. Moscow : Publishing House of Standards, 1977. 9 p.
- GOST R 53292–2009. Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods. Moscow : Standartinform, 2009. 19 p.
- Kukharev V. Structural-modified wood // Nanoindustry. 2015. № 6 (60). P. 76–83. (In Russ.)
- Optimization of the Formulation of a Fire-Retardant Impregnating Composition for Wood / M. N. Tukhbatulin, A. E. Shkuro, T. V. Yakubova, M. A. Krasilnikova // Woodworking Industry. 2025. № 3. P. 30–38. (In Russ.)
- Petrova E. A. Reducing the Flammability of Wood // Construction Materials. 2011. № 11. P. 59–61. (In Russ.)
- Pokrovskaya E. N., Portnov F. A. Fire-retardant composition for wood with effective smoke-extinguishing components // Bulletin of MGSU. 2015. № 10. P. 106–114. (In Russ.)
- Sodium lauryl ether sulfate (SLES) degradation by nitrate-reducing bacteria / A. M. S. Paulo, R. Aydin, M. R. Dimitrov [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. 2017. Vol. 101. P. 5163–5173. DOI: 10.1007/s00253-017-8212-x
- Strashnov A. V. Construction of Wooden Houses: Century-Old Traditions and Modern Technologies // Construction Materials, Equipment, and Technologies of the 21st Century. 2008. № 4 (111). P. 14–16. (In Russ.)
- Sub-clinical, non-erythematous irritation with an open assay model (washing): Sodium lauryl sulfate (SLS) versus sodium laureth sulfate (SLES) / V. Charbonnier, B. M. Morrison, M. Paye, H. I. Maibach // Food and Chemical Toxicology. 2001. Vol. 39, № 3. P. 279–286. DOI: 10.1016/S0278-6915(00)00132-0
- Tukhbatulin M. N., Shkuro A. E., Yakubova T. V. Study of the Influence of Surfactants on the Efficiency of Fire-Retardant Impregnating Solutions for Wood // Systems. Methods. Technologies. 2025. № 4 (68). P. 132–137. DOI 10.18324/2077-5415-2025-4-132-137 (In Russ.)

Информация об авторах

М. Н. Тухбатулин – адъюнкт очной формы обучения адъюнктуры;
А. Е. Шкуро – доктор технических наук, доцент;
Т. В. Якубова – кандидат химических наук, доцент.

Information about the authors

M. N. Tukhbatulin – the full-time study adjunct;
A. E. Shkuro – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
T. V. Yakubova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 16.02.2026; принята к публикации 06.03.2026.
The article was submitted 16.02.2026; accepted for publication 06.03.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 182–191.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 182–191.

Научная статья

УДК 674.816.2

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.018

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛИТНОГО ДРЕВЕСНО-ТОРФЯНОГО КОМПОЗИТА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО МИКРОСТРУКТУРЫ

Сергей Денисович Кондюрин¹, Ирина Валерьевна Яцун²,
Матвей Сергеевич Чекасин³, Светлана Александровна Одинцева⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ sergey.kondyurin.98@mail.ru

² yatsuniv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3195-2410>

³ chekasin01gto10v@gmail.com

⁴ odintsevasa@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6765-3941>

Аннотация. Разработана конструкция плитного древесно-торфяного композита, обладающего теплоизоляционными свойствами. Материал изготавливается из недорогих, доступных и безопасных материалов по технологии, максимально приближенной к стандартной технологии производства древесностружечных плит. Использование в составе плиты древесной стружки позволяет эффективно решать вопросы утилизации и переработки отходов деревообработки. На основании полученной регрессионной модели найден оптимальный состав древесно-торфяной клеевой композиции: содержание верхового торфа – 25 %, древесной стружки – 63 %, связующего – 12 %. При этом ожидаемый коэффициент теплопроводности должен составить 0,086 Вт/(м·К). Сделан вывод о том, что наибольшее влияние на теплоизоляционные свойства материала оказывает его плотность. Результаты микросъемки свидетельствуют о том, что древесная стружка, частицы торфа, а также воздушные поры, которые образуются между ними, достаточно равномерно распределены по всему объему плиты. Связующее обволакивает древесную стружку и фиксирует на нем частицы торфа.

Ключевые слова: древесно-торфяной композит, теплоизоляционный материал на основе древесины, коэффициент теплопроводности древесно-торфяной плиты, теплопроводность древесного композита, древесно-торфяной композит на основе синтетических полимеров

Для цитирования: Оптимизация теплофизических характеристик плитного древесно-торфяного композита и исследование его микроструктуры / С. Д. Кондюрин, И. В. Яцун, М. С. Чекасин, С. А. Одинцева // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 182–191.

Original article

OPTIMIZATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF WOOD-PEAT COMPOSITE BOARD AND RESEARCH OF ITS MICROSTRUCTURE

Sergey D. Kondyurin¹, Irina V. Yatsun², Matvey S. Chekasin³,
Svetlana A. Odintseva⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ sergey.kondyurin.98@mail.ru

² yatsuniv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3195-2410>

³ chekasin01gto10v@gmail.com

⁴ odintsevasa@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6765-3941>

Abstract. A wood-peat composite board with thermal insulation properties has been developed. The material is made from inexpensive, available, and safe materials using a technology that is as close as possible to the standard technology for producing wood-particle boards. The use of wood chips in the composition of the board effectively addresses the issues of waste disposal and recycling in the woodworking industry. Based on the obtained regression model, the optimal composition of a wood-peat adhesive composition was found: the content of high-moor peat is 25 %, wood chips are 63 %, and the binder is 12 %. In this case, the expected thermal conductivity coefficient should be 0,086 W/(m·K). It is concluded that the density of the material has the greatest influence on its thermal insulation properties. The results of the micrography indicate that wood shavings, peat particles, and the air pores that form between them are fairly evenly distributed throughout the entire volume of the slab. The binder envelops the wood shavings and fixes peat particles on it.

Keywords: wood-peat composite, wood-based thermal insulation material, wood-peat board thermal conductivity coefficient, wood composite thermal conductivity, wood-peat composite based on synthetic polymers

For citation: Optimization of thermophysical characteristics of wood-peat composite board and research of its microstructure / S. D. Kondyurin, I. V. Yatsun, M. S. Chekasin, S. A. Odintseva // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 182–191.

Введение

Современное состояние строительной индустрии и мебельного производства характеризуется устойчивым трендом на экологизацию и рациональное использование возобновляемых природных ресурсов. В этом контексте древесные композиционные плиты, являющиеся основой для множества конструкционных и изоляционных решений, претерпевают значительную технологическую эволюцию.

Ограниченность лесных ресурсов и необходимость утилизации отходов деревообработки диктуют потребность в поиске альтернативных способов их использования. Одним из наиболее

перспективных направлений в данной области является создание композиционных материалов, в которых матрицей является связующее, а в качестве наполнителя используются различные материалы.

Проведенный патентно-информационный поиск (Кондюрин, Яцун, 2025а) показал возможность использования отходов деревообработки в сочетании с таким природным материалом, как торф, для создания новых плитных композитов, которые предположительно должны обладать хорошими теплоизоляционными свойствами.

В связи с вышесказанным на кафедре механической обработки древесины ФГБОУ ВО «Уральский

государственный лесотехнический университет» разработана конструкция древесно-торфяного композита (Бекк, Яцун, 2022). Приведенные ниже исследования направлены на изучение его теплофизических свойств и изучения микроструктуры плиты.

Цель, объект и методы исследования

Целью исследования являлись нахождение соотношения компонентов древесно-торфяной клеевой композиции, обеспечивающих оптимальные теплофизические свойства плитному материалу, сформированному на ее основе, и изучение микроструктуры композита.

Объект исследования – плитный древесно-торфяной композит с различным содержанием компонентов, входящих в его состав.

Для изготовления материала использовались: древесная стружка, имеющая фракционный состав: 10/1 – 12 %, 10/7 – 22,68 %, 7/5 – 23,24 %, 5/3 – 18,42 %, 3/2 – 10,4 %, 2/1 – 7,78 % и 1/0 – 7,64 %; торф верховой со степенью разложения 5–12 % (ГОСТ 10650–2013); в качестве связующего – малотоксичная карбамидоформальдегидная смола КФ-МТ-15 (ТУ 6-06-12–88), отвердителем выступил хлористый аммоний (ГОСТ 3773–72), который добавлялся в смолу в количестве 1 % от нее.

В основу методики создания плитного материала легла стандартная технология производства древесностружечных плит (Шварцман, Щедро, 1987; Бекк, Яцун, 2022; Кондюрин, Яцун, 2025б).



Рис. 1. Лабораторные образцы древесно-торфяных композитов

Fig. 1. Laboratory samples of wood-peat composites

Полученные лабораторные образцы плитных древесно-торфяных композитов имеют следующие размеры: длина 330 мм, ширина 330 мм, толщина 22 мм и представлены на рис. 1.

Для реализации эксперимента выбран метод математического планирования с использованием трехфакторного плана Бокса В₃, включающего 14 опытов. Его преимущество заключается в том, что он обладает приемлемыми статистическими характеристиками при небольшом числе опытов, а также простотой реализации (Анисимов, 2017; Пен, 1982).

Теплофизические характеристики полученных плитных материалов оценивались коэффициентом теплопроводности на образцах размером 245×245×22 мм в соответствии с ГОСТ 30256–94 (1996) на измерителе теплопроводности ИТП-МГ4. Внешний вид прибора представлен на рис. 2.

Результаты проведения экспериментальных исследований и их статистическая обработка согласно (Пижури, Розенблит, 1984; Мялицин, 2023) осуществлялись средствами Microsoft Excel 2010.



Рис. 2. Внешний вид прибора для измерения коэффициента теплопроводности

Fig. 2. Appearance of the device for measuring the thermal conductivity coefficient

Для нахождения оптимального соотношения компонентов древесно-торфяной клеевой композиции использовалась технология оптимизации Microsoft Excel 2010 встроенной надстройки «Поиск решения» (Гармаш, Орлова, 2013; Яцун, Шишкина, 2023). Оптимизация осуществлялась с применением метода обобщенного приведенного градиента (ОПГ) (Метод..., 2026).

Для изучения внутренней структуры древесно-торфяного композита проводилась микросъемка с использованием электронного микроскопа Olympus GX-71F (OLYMPUS Co.) (рис. 3) (Олимпус, 2025).



Рис. 3. Процесс проведения микросъемки
Fig.3. The micrography process

Результаты и их обсуждение

Исследования по разработке рецептуры древесно-торфяной клеевой композиции проводились согласно схеме, приведенной на рис. 4.

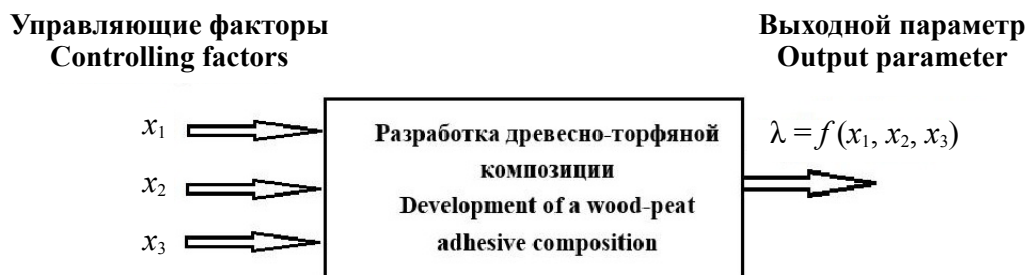


Рис. 4. Схема проведения эксперимента по разработке рецептуры древесно-торфяной клеевой композиции

Fig. 4. Scheme of conducting an experiment on developing a recipe for a wood-peat glue composition

Ниже приведены постоянные факторы при проведении экспериментальных исследований, а в табл. 1 – диапазоны изменения управляющих

факторов, которые были выбраны с учетом предварительно проведенных пробных экспериментов (Кондюрин, Яцун, 2025б).

Относительная влажность воздуха, %	65±5
Температура окружающей среды, °С	20±2
Время перемешивания компонентов композиции, мин.	5±0,1
Влажность древесно-торфяной композиции, %	±0,5
Давление холодной подпрессовки, МПа	1±0,1
Продолжительность холодной подпрессовки, с	50±10
Температура плит пресса, °С	150±5
Давление прессования, МПа	2,8±0,1
Тип прессования	на плоских поддонах с дистанционными планками
Продолжительность прессования под давлением, мин	10±0,5
Продолжительность сброса давления, мин	5±0,5
Продолжительность технологической выдержки, ч	не менее 24

Таблица 1

Table 1

Управляющие факторы и диапазон их варьирования

Control factors and their range of variation

Наименование управляющего фактора Name of the controlling factor	Обозначение Designation	Значения на уровнях варьирования Values at varying levels						Шаг варьирования, Δ The variation step, Δ
		нижнем lower		основном main		верхнем upper		
		Натуральное Natural	Нормализованное Normalized	Натуральное Natural	Нормализованное Normalized	Натуральное Natural	Нормализованное Normalized	
Количество торфа, m_1 , г Amount of peat, m_1 , g	x_1	170	−1	200	0	230	+1	30
Количество древесной стружки, m_2 , г Amount of wood chips, m_2 , g	x_2	450	−1	510	0	570	+1	60
Количество связующего, m_3 , г Amount of binder, m_3 , g	x_3	90	−1	95	0	100	+1	5

В табл. 2 приведены средние значения результатов реализации эксперимента по плану Бокса B_3 для выходной величины – коэффициента теплопроводности (λ , Вт/(м·К)).

Таблица 2

Table 2

Результаты реализации экспериментов по определению коэффициента теплопроводности плитного древесно-торфяного композита по плану Бокса B_3

Results of experiments on determining the thermal conductivity coefficient of a wood-peat composite board according to Box B_3

Номер опыта Experience number	Управляющие факторы Controlling factors						Выходной параметр λ , Вт/(м·К) Output parameter λ , W/(m·K)				Среднее значение плотности ρ , кг/м³ Average density value ρ , kg/m³
	Натуральные значения Natural values			Нормализованные значения Normalized values			№ 1	№ 2	№ 3	Среднее значение The averagevalue	
	m_1 , г m_1 , g	m_2 , г m_2 , g	m_3 , г m_3 , g	x_1	x_2	x_3					
1	230	570	100	1	1	1	0,093	0,097	0,094	0,095	378
2	170	570	100	−1	1	1	0,09	0,087	0,086	0,088	348
3	230	450	100	1	−1	1	0,082	0,085	0,086	0,084	329
4	170	450	100	−1	−1	1	0,078	0,075	0,077	0,077	288
5	230	570	90	1	1	−1	0,09	0,092	0,09	0,091	390
6	170	570	90	−1	1	−1	0,081	0,084	0,086	0,084	352
7	230	450	90	1	−1	−1	0,088	0,093	0,091	0,091	371
8	170	450	90	−1	−1	−1	0,073	0,072	0,074	0,073	261
9	230	510	95	1	0	0	0,089	0,089	0,09	0,089	345
10	170	510	95	−1	0	0	0,082	0,085	0,085	0,084	329

Окончание табл. 2
The end of the table 2

Номер опыта Experience number	Управляющие факторы Controlling factors						Выходной параметр λ , Вт/(м·К) Output parameter λ , W/(m·K)				Среднее значение плотности ρ , кг/м ³ Average density value ρ , kg/m ³
	Натуральные значения Natural values			Нормализованные значения Normalized values			№ 1	№ 2	№ 3	Среднее значение The averagevalue	
	m_1 , г m_1 , g	m_2 , г m_2 , g	m_3 , г m_3 , g	x_1	x_2	x_3					
11	200	570	95	0	1	0	0,091	0,087	0,089	0,089	341
12	200	450	95	0	−1	0	0,083	0,08	0,08	0,081	284
13	200	510	100	0	0	1	0,086	0,086	0,086	0,086	337
14	200	510	90	0	0	−1	0,088	0,085	0,086	0,086	352

Проведенный статистический анализ полученных результатов подтвердил однородность дисперсии и значимость коэффициентов уравнения регрессии и позволил построить регрессионную модель рецептур древесно-торфяных клеевых композиций, на основе которых сформированы композиты, обладающие теплоизоляционными свойствами:

– в нормализованном выражении:

$$\lambda = 0,086 + 0,0032x_1 + 0,0027x_2 + 0,0005x_3 - 0,0012x_1^2 + 0,0002x_2^2 - 0,0002x_3^2 - 0,0014x_1x_2 - 0,0013x_1x_3 + 0,0013x_2x_3, \quad (1)$$

– в натуральном выражении:

$$\lambda = -0,07 + 0,00066m_1 + 0,00052m_2 + 0,0005m_3 + 0,000001m_1^2 - 0,000006m_2^2 - 0,000002m_3^2 - 0,000004m_1m_2 - 0,000005m_1m_3 + 0,000009m_2m_3. \quad (2)$$

На рис. 5 приведены графические интерпретации зависимостей изменения коэффициента теплопроводности древесно-торфяного композита от управляющих факторов.

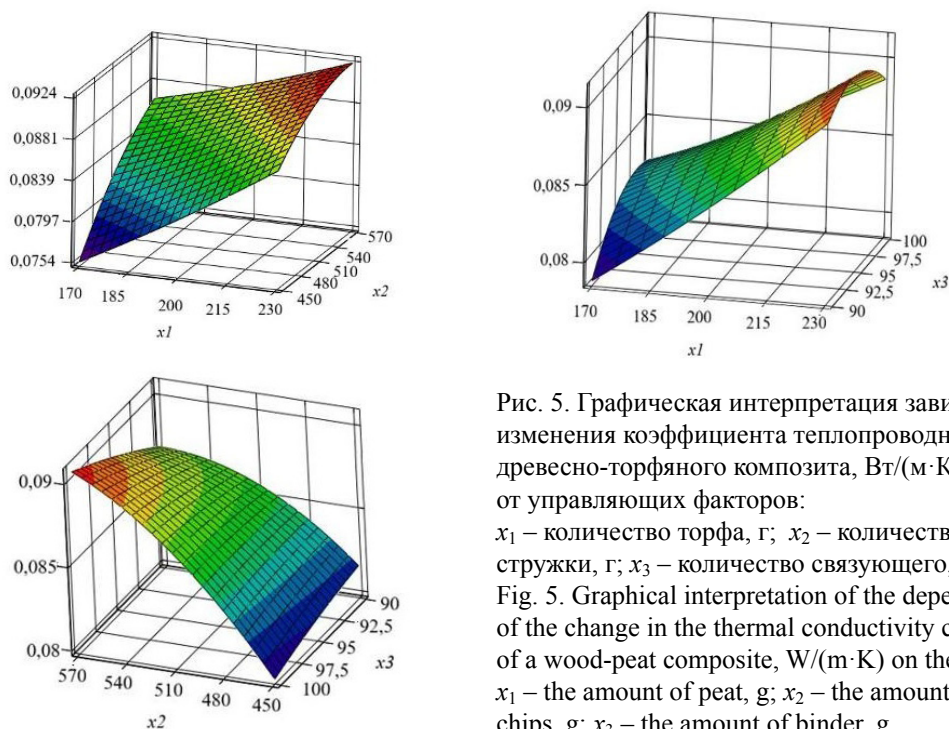


Рис. 5. Графическая интерпретация зависимости изменения коэффициента теплопроводности древесно-торфяного композита, Вт/(м·К), от управляющих факторов:
 x_1 – количество торфа, г; x_2 – количество древесной стружки, г; x_3 – количество связующего, г
Fig. 5. Graphical interpretation of the dependence of the change in the thermal conductivity coefficient of a wood-peat composite, W/(m·K) on the control factors:
 x_1 – the amount of peat, g; x_2 – the amount of wood chips, g; x_3 – the amount of binder, g

Регрессионная модель (1) использовалась для оптимизации рецептур разработанных древесно-торфяных клеевых композиций. Задача оптимизации ставилась следующим образом:

– целевая функция:

$$y = 0,086 + 0,0032x_1 + 0,0027x_2 + 0,0005x_3 - 0,0012x_1^2 + 0,0002 + 0,002x_2^2 - 0,002x_3^2 - 0,0014x_1x_2 - 0,0013x_1x_3 + 0,0013x_2x_3 \rightarrow \min, \quad (3)$$

– система ограничений:

$$-1 \leq x_1 \leq 1; \quad (4)$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1; \quad (5)$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1. \quad (6)$$

Результаты решения поставленной оптимизационной задачи представлены на рис. 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Коэффициенты уравнения регрессии										Коэффициент теплопроводности, λ, Вт/(м•К)
2	b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	
3	0,086	0,0032	0,0027	0,0005	-0,0012	0,0002	-0,0002	-0,0014	-0,0013	0,0013	
4	Переменные										
5		x1	x2	x3							
6		0	0	0							0,0860
7	Система ограничений										
8		1	0	0	0	1					
9		1	0	0	0	-1					
10		0	1	0	0	1					
11		0	1	0	0	-1					
12		0	0	1	0	1					
13		0	0	1	0	-1					
14											

Рис. 6. Результаты решения оптимизационной задачи по определению оптимального состава древесно-торфяной клеевой композиции
Fig. 6. Results of solving an optimization problem to determine the optimal composition of a wood-peat adhesive composition

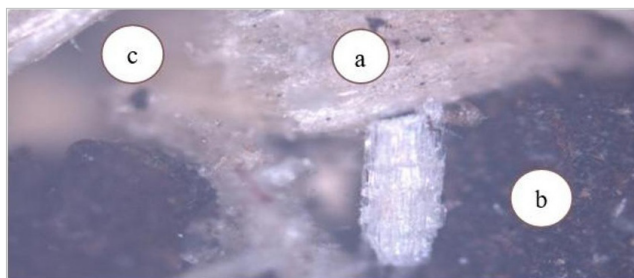


Рис. 7. Микросъемка торца древесно-торфяного композита (увеличение в 50 раз):
a – древесная стружка, *b* – торф, *c* – воздушные поры
Fig. 7. Micrograph of the end of a wood-peat composite (magnification 50 times):
a – wood chips, *b* – peat, *c* – air pores

На рис. 7 представлены результаты микросъемки торца древесно-торфяного композита.

На представленном снимке хорошо различимы древесная стружка (*a*), частицы торфа (*b*) и воздушные поры (*c*), образованные между ними, достаточно равномерно по всему объему плиты. Связующее обволакивает древесную стружку и фиксирует на нем частицы торфа.

Это позволяет предположить, что чем крупнее фракция древесной стружки и частиц торфа, используемых для формирования плиты, тем больше будут размеры и количество воздушных пор в композите, что, вероятно, приведет к повышению показателей теплоизоляционных свойств формируемого материала.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработанный плитный древесно-торфяной композит изготавливается из доступных, недорогих и безопасных материалов и позволяет эффективно решать вопросы утилизации и переработки отходов деревообработки.

2. Технология получения композита максимально приближена к стандартной технологии изготовления древесностружечных плит.

3. Количество компонентов, входящих в состав древесно-торфяной клеевой композиции,

оказывает существенное влияние на теплоизоляционные свойства получаемого композита, так как наблюдается четкая зависимость между плотностью получаемого материала и его коэффициентом теплопроводности. Наилучшие изоляционные характеристики зафиксированы у состава № 8 ($\lambda=0,073$ Вт/(м·К)), который обладает минимальной плотностью 261 кг/м³. Это полностью согласуется с фундаментальными положениями теплофизики пористых сред: уменьшение объемного веса ведет к увеличению доли воздушных пор, что снижает кондуктивный перенос тепла через материал композита:

– снижение количества стружки с 570 до 450 г приводит к существенному уменьшению плотности и теплопроводности. Например, при сравнении составов № 1 и № 3 плотность получаемых материалов снижается на 15 %, что сопровождается повышением показателей теплоизоляционных свойств;

– при сравнении составов № 1 и № 2 видно, что уменьшение содержания торфа с 230 до 170 г способствует снижению плотности в среднем на 8,6 % и уменьшению теплопроводности на 7,4 %. Это может свидетельствовать о том, что торфяные частицы эффективно заполняют межстружечное пространство, повышая монолитность плиты, но при этом несколько уменьшая ее способность проводить тепло;

– снижение содержания связующего с 100 до 90 (сравнение пар № 1 и № 5, № 4 и № 8) демонстрирует неоднозначное влияние. В паре составов № 4 и № 8 снижение доли связующего позволило достичь экстремально низкой плотности 261 кг/м³, что является наилучшим результатом для обеспечения теплоизоляции.

4. На основании полученной регрессионной модели найден оптимальный состав древесно-торфяной клеевой композиции: содержание верхового торфа – 25 %, древесной стружки – 63 %, а связующего – 12 %. При этом ожидаемый коэффициент теплопроводности должен составить 0,086 Вт/(м·К).

5. Результаты микросъемки свидетельствуют о том, что древесная стружка, частицы торфа, а также воздушные поры, которые образуются между ними, достаточно равномерно распределены по всему объему плиты. Связующее обволакивает древесную стружку и фиксирует на нем частицы торфа.

6. Полученный материал обладает достаточно высокими показателями теплоизоляционных свойств (в зависимости от количества компонентов, входящих в его состав), коэффициент теплопроводности колеблется в пределах от 0,073 до 0,095 Вт/(м·К), что позволяет ему конкурировать на рынке с материалами-аналогами.

Список источников

- Анисимов П. Н. Об использовании методики планирования эксперимента в соответствие с трехуровневыми планами Бокса – Бенкена // Вестник магистратуры. 2017. № 2–2 (65). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-ispolzovanii-metodiki-planirovaniya-eksperimenta-v-sootvetstvie-s-trehurovnevymi-planami-boksa-benkena/> (дата обращения: 09.03.2026).
- Бекк П. А., Яцун И. В. Формирование древесно-торфяного плитного материала и исследование его свойств // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : тр. XVII Междунар. евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2022. С. 40–47.
- Гармаш А. Н., Орлова И. В. Математические методы в управлении. М. : ИНФРА-М, 2013. 272 с.
- ГОСТ 10650–2013. Торф. Метод определения степени разложения. Технические условия. Введ. 2015-03-03. М. : Изд-во стандартов, 2019. 11 с.
- ГОСТ 30256–94. Материалы и изделия строительные. Метод определения коэффициента теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Введ. 1996-01-01. М. : Стандартинформ, 1996. 12 с.
- ГОСТ 3773–72. Аммоний хлористый. Технические условия. Введен 1973-07-01. М. : Стандартинформ, 2007. 6 с.

- Кондюрин С. Д., Яцун И. В. Использование торфа в композициях теплоизоляционных материалов на основе отходов древесины: анализ патентных решений // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : тр. XX Междунар. евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2025б. С. 102–108.
- Кондюрин С. Д., Яцун И. В. Влияние состава и структуры древесно-торфяного композита на его теплоизоляционные свойства // Перспективные направления развития техники и технологий : сб. науч. ст. Краснодар, 2025а. С. 43–46.
- Метод приведенного градиента // Моделирование в электроэнергетике : [сайт]. URL: <http://simenergy.ru/> (дата обращения: 16.03.2026).
- Мялицин А. В. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследованиях технологических процессов в деревообрабатывающей промышленности. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2023. 76 с.
- Олимпус. Инвертированные металлографические микроскопы : каталог оборудования // Научное оборудование : [сайт]. URL: <https://spegroup.ru/upload/wikifiles/2530021.pdf?ysclid=mj83ebz6kv33131021/> (дата обращения: 16.12.2025).
- Пен Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажной промышленности. Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1982. 191 с.
- Пижурич А. А., Розенблит М. С. Исследования процессов деревообработки. М. : Лесн. пром-сть, 1984. 140 с.
- ТУ 6-06-12–88. Смола карбамидоформальдегидная, марка КФ-МТ-15. Технические условия. Введен 1989-02-15. URL: <https://informproekt.ru/docs/496917757/?ysclid=mq9qbsav6z607900768> (дата обращения: 16.12.2025).
- Шварцман Г. М., Щедро Д. А. Производство древесностружечных плит. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Лесн. пром-сть, 1987. 319 с.
- Яцун И. В., Шишкина С. Б. Методы и модели в управлении процессами деревообрабатывающих производств. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2023. 172 с.

References

- Anisimov P. N. On the use of experimental design methodology in accordance with three-level Box – Behnken plans // Vestnik magistratury. 2017. № 2–2 (65). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-ispolzovanii-metodiki-planirovaniya-eksperimenta-v-sootvetstvie-s-trehurovnevymi-planami-boksa-benkena/> (accessed 09.03.2026).
- Bekk P. A., Yatsun I. V. Formation of wood-peat board material and study of its properties // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century : proceedings of the XVII International Eurasian Symposium. Yekaterinburg, 2022. P. 40–47. (In Russ.)
- Garmash A. N., Orlova I. V. Mathematical methods in management. Moscow : INFRA-M Publ., 2013. 272 p.
- GOST 10650–2013. Peat. Method for Determining the Degree of Decomposition. Technical Conditions. Introduction. 2015-03-03. Moscow : Publishing House of Standards, 2019. 11 p.
- GOST 30256–94. Building materials and products. A method for determining the coefficient of thermal conductivity and thermal resistance in a stationary thermal regime. Introduction. 1996-01-01. Moscow : Standartinform, 1996. 12 p.
- GOST 3773–72. Ammonium chloride. Technical specifications. Introduced on 1973-07-01. Moscow : Standartinform, 2007. 6 p.
- Kondyurin S. D., Yatsun I. V. Use of peat in compositions of heat-insulating materials based on wood waste: analysis of patent solutions // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century : proceedings of the XX International Eurasian Symposium. Yekaterinburg, 2025б. P. 102–108. (In Russ.)

- Kondyurin S. D., Yatsun I. V. Influence of the composition and structure of a wood-peat composite on its heat-insulating properties // Perspective directions for the development of machinery and technologies : collection of scientific articles. Krasnodar, 2025a. P. 43–46. (In Russ.)
- Myalitsin A. V. Methodology for experimental design and processing of results in studies of technological processes in the woodworking industry. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University Publ., 2023. 76 p.
- Olympus. Inverted metallographic microscopes series: equipment catalog // Scientific equipment : [website]. URL: <https://spegroup.ru/upload/wikifiles/2530021.pdf> (accessed 16.12.2025).
- Pen R. Z. Statistical methods for modeling and optimization of pulp and paper industry processes. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk University Publ., 1982. 191 p.
- Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. Research of woodworking processes. Moscow : Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 140 p.
- Reduced gradient method // Modeling in power engineering : [website]. URL: <http://simenergy.ru/> (accessed 16.03.2026).
- Shvartsman G. M., Shchedro D. A. Production of particle boards. 4th ed. Moscow : Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 319 p.
- State Standard 30256–94. Building materials and products. Method for determination of thermal conductivity and thermal resistance under steady-state thermal conditions. Moscow : Izd-vo standartov Publ., 1996. 12 p.
- TU 6-06-12–88. Carbamide-formaldehyde resin, grade KF-MT-15. Technical specifications. Entered 1989-02-15. URL: <https://informproekt.ru/docs/496917757/?ysclid=mq9qbsav6z607900768> (accessed 16.12.2025).
- Yatsun I. V., Shishkina S. B. Methods and models in the management of woodworking production processes. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University Publ., 2023. 172 p.

Информация об авторах

С. Д. Кондюрин – аспирант;
И. В. Яцун – доктор технических наук, доцент;
М. С. Чекасин – аспирант;
С. А. Одинцева – кандидат технических наук.

Information about the authors

S. D. Kondyurin – Postgraduate student;
I. V. Yatsun – Doctor of Technical Sciences;
M. S. Chekasin – Postgraduate student;
S. A. Odintseva – Candidate of Technical Sciences.

Статья поступила в редакцию 24.03.2026; принята к публикации 20.04.2026.
The article was submitted 24.03.2026; accepted for publication 20.04.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 192–197.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 192–197.

Научная статья

УДК 674.02

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.019

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВОЛНИСТОЙ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРОЙ ИЗ ЛУЩЕНОГО ШПОНА

А. А. Лукаш¹, С. В. Щепочкин², С. Н. Швачко³, В. А. Романов⁴,
О. Н. Чернышев⁵, К. Д. Горбатенко⁶

^{1, 3, 4, 6} Брянский государственный инженерно-технологический университет,
Брянск, Россия

^{2, 5} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Андреевич Лукаш,
mr.luckasch@yandex.ru

Аннотация. В статье описан способ получения композиционных материалов с волнистой внутренней структурой из лущеного шпона мягколиственных пород, которые предполагается использовать для декоративной отделки жилых помещений. Яркая выразительность текстуры формируется сочетанием слоев лущеного шпона разных цветов и пород, например березы и ольхи. Предложенный способ характеризуется склеиванием пакета лущеного шпона в прессе с плоскими плитами, внутри склеиваемого пакета размещены нижние и верхние дополнительные элементы из лущеного шпона в форме пирамид, а величина изгиба слоев лущеного шпона определяется размерами, количеством нижних и верхних дополнительных элементов и создаваемым расстоянием между ними. При формировании волнистой структуры образуются незначительные внутренние полости. Наличие полостей ухудшает внешний вид поверхности и незначительно снижает плотность и прочность. Установлено снижения плотности из-за наличия пустот – с 610 до 550 кг/м³, или на 10 %. Поэтому полости должны быть зашпатлеваны. Получаемая внутренняя волнистая структура значительно улучшает внешний вид данного материала, обеспечивает более широкое применение малоиспользуемой мягколиственной древесины с однородной текстурой и позволяет делать текстуру древесины яркой и выразительной.

Ключевые слова: волнистая структура, лущеный шпон, склеивание

Для цитирования: Условия получения композиционных материалов с волнистой внутренней структурой из лущеного шпона / А. А. Лукаш, С. В. Щепочкин, С. Н. Швачко [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 192–197.

Original article

CONDITIONS FOR PRODUCING COMPOSITE MATERIALS WITH A WAVY INTERNAL STRUCTURE FROM ROTARY-CUT VENEER

Alexander A. Lukash¹, Sergey V. Shchepochkin², Sergey N. Shvachko³,
Victor A. Romanov⁴, Oleg N. Chernyshev⁵, Kirill D. Gorbatenko⁶

^{1, 3, 4, 6} Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia

^{2, 5} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Alexander A. Lukash mr.lukasch@yandex.ru

Abstract. The article describes a method for obtaining composite materials with a wavy internal structure from rotary-cut veneer of softwood species, which are intended to be used for decorative finishing of residential premises. The bright expressiveness of the texture is formed by a combination of layers of rotary-cut veneer of different colors and species, such as birch and alder. The proposed method is characterized by gluing a package of rotary-cut veneer in a press with flat board, and the lower and upper additional elements of rotary-cut veneer in the shape of pyramids are placed inside the glued package. The amount of bending of the rotary-cut veneer layers is determined by the size, number of lower and upper additional elements, and the distance between them. When creating a wavy structure with additional internal elements, minor internal cavities are formed due to the design features, which can later be filled with putty. The presence of cavities leads to a slight decrease in density and strength, which is not significant for materials that are later used as decorative finishes. It has been established that the decrease in density due to the presence of cavities is from 610 to 550 kg/m³, or by 10 %. The resulting internal wavy structure significantly improves the appearance of this material and allows for the wider use of underutilized softwood with a uniform texture, making the wood texture vibrant and expressive.

Keywords: waviness, structure, rotary-cut veneer, gluing

For citation: Conditions for producing composite materials with a wavy internal structure from rotary-cut veneer // A. A. Lukash, S. V. Shchepochkin, S. N. Shvachko [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 192–197.

Введение

Доходность лесопромышленного комплекса в нашей стране значительно ниже, чем в промышленно развитых странах. Так, например, в США доход от использования лесов составляет 119 млрд долл., а в России этот показатель значительно меньше – 0,055 млрд долл. (Булгакова, 2021). Поэтому основной задачей развития лесного комплекса Российской Федерации является повышение уровня доходности лесопользования (Гагарин, 2021). Из-за хороших эксплуатационных свойств (прочностных и декоративных) ценная в техническом отношении древесина твердолиственных и хвойных пород широко применяется в народном хозяйстве. Спрос на нее постоянно

увеличивается, что способствует постоянному росту цены на сырье. Проблему возрастающего дефицита ценной в техническом отношении древесины в настоящее время пытаются решить вовлечением в переработку не достигших возраста рубки древостоев. Но такой способ решения проблемы в будущем приведет к еще большему дефициту и возрастанию цен на сырье.

Древесина березы и мягких лиственных пород обладает однородной невыразительной текстурой (Уголев, 2007), что ограничивает ее использование в качестве декоративных материалов для отделки помещений. Повышение декоративности текстуры обеспечит более широкое вовлечение в промышленную переработку этой древесины (Лукаш,

Лукутцова, 2021). Это подтверждается успешной и продолжительной работой итальянской фирмы ALPI по изготовлению отделочных материалов из мягколиственной древесины, которые имитируют ярко выраженную красивую текстуру древесины ценных пород (Вараксин, Кошелева, 2017; Способ..., 2025; Composite layered..., 2025; Максименко, 2025).

Цель, задача, методика и объекты исследования

Целью исследований является создание новых отделочных материалов из малоиспользуемой мягколиственной древесины. Задача исследований – улучшение внешнего вида древесных материалов из древесины с невыразительной однородной текстурой. Объект исследования – декоративные пластины из лущеного шпона лиственных пород. Предмет исследований – условия получения древесных материалов с волнистой структурой. Применяемые материалы и оборудование: березовый и ольховый лущеный шпон толщиной 1,15 мм, клей на основе смолы карбамидоформальдегидной (КФС) марки КФ120-65, гидравлический пресс марки П-713. Методика обработки результатов: исследовалась плотность склеенных образцов ρ , кг/м³, и величина абсолютного снижения плотности ε , %:

$$\varepsilon = \frac{(\rho - \Delta\rho)}{\rho} 100. \quad (1)$$

Результаты и их обсуждение

Для минимизации сырьевых затрат лучше всего использовать мало востребованную и поэтому недорогую древесину мягких лиственных пород. Известно, что красота текстуры древесины лиственницы заключается в чередовании слоев ранней и поздней древесины, различающихся по цвету. Для имитирования текстуры древесины ценных пород с ярко выраженной структурой предлагается чередовать слои лущеного шпона разного цвета. Это возможно окрашиванием слоев водными красителями или применением листов пород древесины, которые отличаются по цвету, например березы и ольхи (Способы изготовления..., 2025). Другим способом улучшения внешнего вида

является придание волнистости структуре древесины. Общеизвестна красота древесины карельской березы из-за ее волнистой структуры. Поэтому данная статья посвящена обоснованию применения способа создания волнистой структуры в процессе склеивания пакета лущеного шпона из древесины пород разного цвета.

Авторами разработано техническое решение и получен патент на способ изготовления декоративных пластин с волнистой структурой из лущеного шпона мягких лиственных пород древесины (Пат. 2854673, 2025). Способ характеризуется склеиванием пакета лущеного шпона в прессе с плоскими плитами, внутри склеиваемого пакета размещены нижние и верхние дополнительные элементы из лущеного шпона в форме пирамид, величина изгиба слоев лущеного шпона определяется размерами, количеством нижних и верхних дополнительных элементов и расстоянием между ними. Схема реализации способа приведена на рис. 1.

Склеиваемый пакет содержит цельные внутренние слои лущеного шпона 1; дополнительные внутренние элементы шпона 2: плиты прессы 3; цельные наружные слои лущеного шпона 4. Склеивание осуществляют любым известным способом по типовым технологическим режимам склеивания холодным или горячим способом в прессе с плоскими плитами 3. Наружные слои 4 выполнены цельными для обеспечения гладкости наружной поверхности склеиваемого пакета. Дополнительные элементы (2) из лущеного шпона уложены в форме пирамиды с постоянно уменьшающимся размером, например 120, 100, 80, 60, 40 мм. Дополнительные элементы 2 в пакете располагают со смещением. Волнистую структуру формируют изгибом внутренних склеиваемых слоев лущеного шпона 1 в местах установки дополнительных элементов. Величину изгиба слоев шпона 1 (волнистость) определяют размеры и количество дополнительных элементов 2 и расстояние между ними.

Чередование в склеиваемом пакете листов шпона разного цвета и породы, например березы и ольхи, обеспечивает яркую выраженность текстуры для имитации текстуры древесины ценных

пород. На рис. 2 показан образец, полученный при реализации данного способа.

В опытном образце зафиксировано наличие воздушных незаполненных клеем полостей (непроклея), что негативно сказывается на внешнем виде получаемого изделия.

Наличие пустот приводит с некоторому снижению плотности. Установлена величина снижения плотности из-за наличия пустот. Плотность участка без пустот составила 610 кг/м^3 , а с пустотами – 550 кг/м^3 . Снижение плотности составило 10 %. Изготовленные данным способом образцы предполагается использовать в качестве декоративных отделочных материалов, где не требуются высокие прочностные показатели. Воздушные полости могут быть замазаны любым известным шпаклевочным составом для древесины.

Выводы

Таким образом, на основе вышеизложенного установлено следующее.

1. Разработан способ получения композиционных материалов с волнистой внутренней структурой из лущеного шпона мягколиственных пород, которые предполагается использовать для декоративной отделки жилых помещений. Яркая выразительность текстуры формируется сочетанием слоев лущеного шпона разных цветов и пород, например березы и ольхи.

2. Предложенный способ характеризуется склеиванием пакета лущеного шпона в прессе с плоскими плитами, внутри склеиваемого пакета размещены нижние и верхние дополнительные элементы из лущеного шпона в форме пирамид, а величина изгиба слоев лущеного шпона определяется размерами, количеством нижних и верхних дополнительных элементов и создаваемым расстоянием между ними.

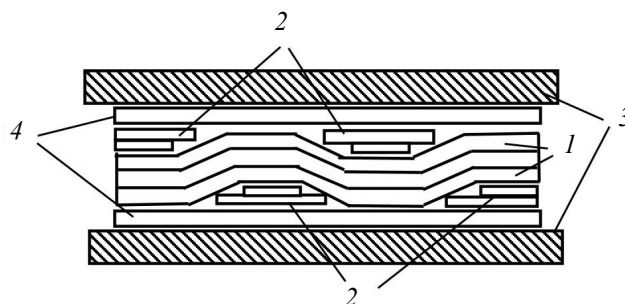


Рис. 1. Схема реализации способа:

1 – целые внутренние слои лущеного шпона;
2 – дополнительные внутренние элементы шпона;
3 – плиты пресса; 4 – целые наружные слои лущеного шпона

Fig. 1. Implementation scheme of the method:

1 – solid inner layers of split veneer; 2 – additional inner elements of veneer; 3 – press plates;
4 – solid outer layers of split veneer



Рис. 2. Образец с волнистой структурой

Fig. 2. A sample with a wavy structure

3. При формировании волнистой структуры дополнительными внутренними элементами образуются незначительные внутренние полости. Наличие полостей ухудшает внешний вид поверхности и незначительно снижает плотность и прочность. Установлено снижения плотности из-за наличия пустот – с 610 до 550 кг/м^3 , или на 10 %. Поэтому полости должны быть зашпатлеваны.

4. Получаемая внутренняя волнистая структура значительно улучшает внешний вид данного материала, обеспечивает более широкое применение малоиспользуемой мягколиственной древесины с однородной текстурой и позволяет делать текстуру древесины яркой и выразительной.

Список источников

- Булгакова М. А. Формирование системы обеспечения экономической безопасности лесного комплекса России : дис. ... д-ра эконом. наук / Булгакова Марина Александровна. СПб. : СПбГЭУ, 2021. 356 с.
- Вараксин В. В., Кошелева Н. А. Использование реструктурированного шпона (файн-лайн) для облицовывания щитов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XIII Всерос.

науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Екатеринбург, 2017. С. 60–62.

Гагарин Ю. Н. Научный комментарий к стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, № 4. Ст. № 96. URL: <https://jfsi.ru/4-4-2021-gagarin/?ysclid=mlf690awqb314591611> (дата обращения: 12.09.2025).

Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Процессы комплексной переработки древесины мягких лиственных пород в композиционные материалы строительного назначения с улучшенными эксплуатационными свойствами. Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2021. 324 с.

Максименко Д. М. Изготовление из древесины мягких лиственных пород декоративных пластин, имитирующих текстуру дуба // Актуальные вопросы техники, науки, технологии : сб. науч. тр. нац. конф. 13–15 февраля 2025 г. / под общ. ред. Т. Э. Сергутиной. Брянск : Брянск. гос. инж.-технол. ун-т, 2025. С. 179–182.

Пат. 2854673 Российская Федерация C1 МПК B44C 3/00 (2006.01). Способ изготовления декоративной пластины с волнистой структурой из лущеного шпона мягких лиственных пород древесины. № 2025103103 ; заявл. 13.02.2025 : опубл. 15.01.2026 / А. А. Лукаш, Д. М. Максименко, В. А. Романов, В. В. Сиваков, Е. В. Шевелева, Е. В. Сивакова ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет». URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82977014&ysclid=mlf5wwimzz908277790> (дата обращения: 02.02.2026).

Способ изготовления композиционных отделочных материалов из древесины лиственных пород / О. Н. Чернышев, А. А. Лукаш, В. А. Романов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 109–114.

Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. 3-е изд., перераб. и доп. М. : МГУЛ, 2007. 340 с.

Composite layered materials from soft hardwood species imitating oak structure // A. Lukash, E. Sivakova, O. Chernyshev [et al.] // E 3S Web Conf. 627 05002 (2025). URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2025/27/e3sconf_geotech2025_05002.pdf (дата обращения: 02.02.2026).

References

- Bulgakova M. A. Formation of the economic security system of the Russian forest complex : Dissertation. ... doct. economy. Sciences / Bulgakova Marina Alexandrovna. St. Petersburg : SPbSUE, 2021. 356 p.
- Composite finishing materials made of hardwood / O. N. Chernyshev, A. A. Lukash, V. A. Romanov [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 1 (92). P. 109–114. (In Russ.)
- Composite layered materials from soft hardwood species imitating oak structure // A. Lukash, E. Sivakova, O. Chernyshev [et al.] // E 3S Web Conf. 627 05002 (2025). URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2025/27/e3sconf_geotech2025_05002.pdf (accessed 02.02.2026).
- Gagarin Yu. N. Scientific commentary on the development strategy of the forest complex of the Russian Federation until 2030 // Issues of Forest Science. 2021. Vol. 4, № 4. Article № 96. URL: <https://jfsi.ru/4-4-2021-gagarin/?ysclid=mlf690awqb314591611> (accessed 12.09.25)
- Lukash A. A., Lukutsova N. P. The processes of complex processing of soft hardwood into composite materials for construction purposes with improved performance properties. Moscow ; Berlin : Direct-Media, 2021. 324 p.
- Maksimenko D. M. Production of decorative plates from soft hardwood that mimic the texture of oak // Actual issues of engineering, science, technology : collection of scientific papers of the national conference on February 13–15, 2025 / Under the general editorship of T. E. Sergutina. Bryansk : Bryansk state technological university of engineering, 2025. P. 179–182. (In Russ.)
- Pat. RF № 2854673 C1 IPC B44C 3/00 (2006.01). A method for making a decorative plate with a wavy structure from peeled veneer of soft deciduous wood. № 2025103103 : filed on 13.02.2025 : published on 15.01.2026 /

A. A. Lukash, D. M. Maksimenko, V. A. Romanov, V. V. Sivakov, E. V. Sheveleva, E. V. Sivakova ; applicant and patent holder of the Bryansk State Technological University of Engineering. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82977014&ysclid=mlf5wwimzz908277790> (accessed 02.02.2026).

Ugolev B. N. Wood science with the basics of forest commodity science. 3rd ed., reprint. and add. Moscow : MSFU, 2007. 340 p.

Varaksin V. V., Kosheleva N. A. The use of restructured veneer (fine-line) for cladding shields // Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia : mater. XIII All-Russian Scientific and Technical conference of students and postgraduates and the Umnik program competition. Yekaterinburg, 2017. P. 60–62. (In Russ.)

Информация об авторах

Александр Андреевич Лукаш – доктор технических наук, профессор;
mr.luckasch@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5675-6304>

Сергей Владимирович Щепочкин – кандидат технических наук;
shchepochkinsv@m.usfeu.ru

Сергей Николаевич Швачко – кандидат технических наук, доцент;
sshvachko@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0002-7670-1527>

Виктор Александрович Романов – кандидат технических наук, доцент;
vromanov62@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0006-1794-7956>

Олег Николаевич Чернышев – кандидат технических наук, доцент;
chernyshevon@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9396-1246>

Кирилл Дмитриевич Горбатенко – студент.
rebenok_mama@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0004-6139>

Information about the authors

Alexandr A. Lukash – Doctor of Technical Sciences, Professor;
mr.luckasch@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5675-6304>

Sergey V. Shchepochkin – Candidate of Technical Sciences;
shchepochkinsv@m.usfeu.ru

Sergey N. Shvachko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
sshvachko@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0002-7670-1527>

Victor A. Romanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
vromanov62@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0006-1794-7956>

Oleg N. Chernyshev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
chernyshevon@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9396-1246>

Kirill D. Gorbatenko – student.
rebenok_mama@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0004-6139>

Статья поступила в редакцию 09.02.2026; принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted. 09.02.2026; accepted for publication 20.03.2026.

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 198–210.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 198–210.

Научная статья

УДК 551.581.1

DOI: 10.51318/FRET.2026.98.3.020

ФАКТИЧЕСКОЕ И ПРОГНОЗИРУЕМОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В УРАЛЬСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX – ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВВ.

Дмитрий Дмитриевич Стратонов¹, Валерий Владимирович Фомин²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ stratonovdd@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5081-4365>

² fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>

Аннотация. В статье представлены результаты количественной оценки пространственно-временной динамики климатических параметров Уральского федерального округа (УрФО) за период 1950–2049 гг. С использованием данных реанализа ERA5 и сценарного моделирования (модель BCC-CSM1-1-M, сценарий RCP 8.5) проанализированы тренды приземной температуры воздуха и атмосферных осадков. Для оценки климатической нестационарности применен метод ядерной оценки плотности вероятности (KDE), а для локализации трендов – многомерное кластерное зонирование с использованием алгоритма K-Means. Установлено, что на исследуемой территории сформирован устойчивый тренд к повышению температуры (до плюс 4,04 °C к 2045–2049 гг. относительно базового периода 1950–1954 гг.) и увеличению количества атмосферных осадков. Выявлено, что на фоне интенсивного потепления климата в северных широтах формируется контрастный режим увлажнения, при этом максимальная межгодовая изменчивость пятилетних сумм осадков характерна для наиболее увлажненных районов. Анализ распределений плотности вероятности сумм атмосферных осадков показал рост их дисперсии (увеличение стандартного отклонения с 70,50 мм до 75,83 мм), что свидетельствует о нелинейном увеличении частоты климатических экстремумов. Полученные результаты и разработанные схемы климатического районирования могут быть использованы для целей экологического мониторинга, оценки лесопожарной опасности, а также учета возможных изменений климата при планировании и проведении лесохозяйственных мероприятий в условиях регионального изменения климата.

Ключевые слова: изменение климата, Уральский федеральный округ, сценарное моделирование, кластерный анализ, ядерная оценка плотности

Финансирование: результаты исследований получены в рамках выполнения государственной госбюджетной темы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (шифр проекта FEUG-2023-0002).

Для цитирования: Стратонов Д. Д., Фомин В. В. Фактическое и прогнозируемое изменение климата в Уральском федеральном округе во второй половине XX – первой половине XXI вв. // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 3 (98). С. 198–210.

Original article

ACTUAL AND PROJECTED CLIMATE CHANGE IN THE URAL FEDERAL DISTRICT IN THE SECOND HALF OF THE 20TH – FIRST HALF OF THE 21ST CENTURIES

Dmitry D. Stratonov¹, Valery V. Fomin²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ stratonovdd@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5081-4365>

² fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>

Abstract. The article presents the results of a quantitative assessment of the spatiotemporal dynamics of climate parameters in the Ural Federal District (UFD) for the period of 1950–2049. Using ERA5 reanalysis data and scenario modeling (BCC-CSM1-1-M model, RCP 8.5 scenario), trends in surface air temperature and atmospheric precipitation were analyzed. To assess climate non-stationarity, the kernel density estimation (KDE) method was applied, while multidimensional cluster zoning using the K-Means algorithm was used to localize these trends. It was established that a stable macro-regional trend toward a temperature increase (up to plus 4,04 °C by 2045–2049 relative to the 1950–1954 base period) and a precipitation increase, corresponding to a humid warming type, is forming across the entire research area. Intense climate warming in northern latitudes leads to the formation of a contrasting moisture regime, with the highest inter annual variability in five-year precipitation sums observed in the most humid regions. The analysis of probability density distributions showed an increase in precipitation dispersion (from 70,50 mm to 75,83 mm), which indicates a non-linear increase in the frequency of climate extremes. The obtained results and the developed climate zoning maps can be used for environmental monitoring, forest fire risk, as well as taking into account possible climate changes for planning and implementing forestry activities under regional climate change.

Keywords: climate change, Ural Federal District, scenario modeling, cluster analysis, kernel density estimation

Funding: this research was supported by research project of the Ministry of Science and Higher Education of Russia FEUG-2023-0002.

For citation: Stratonov D. D., Fomin V. V. Actual and projected climate change in the Ural federal district in the second half of the 20th – first half of the 21st centuries // Forests of Russia and economy in them. 2026. № 3 (98). P. 198–210.

Введение

Глобальное и региональное изменение климата является одной из главных экологических проблем современности. Изменение климата приводит к смещению биоклиматических зон, трансформируя лесорастительные условия, что напрямую влияет на процессы формирования и развития лесных экосистем. Региональное потепление климата приводит к увеличению продолжительности пожароопасных периодов и повышению частоты возникновения лесных пожаров и площади участков леса, пройденных ими (Швиденко, Щепашенко, 2013;

Залесов и др., 2022; Особенности..., 2023; Третьяков, Пономарев, 2023), повышает общую уязвимость лесных экосистем, вызывая учащение вспышек массового размножения насекомых-вредителей и расширение зон их потенциального заселения (Королева и др., 2016; Рубцов, Уткина, 2019), а также сдвиг сроков сезонных фенофаз и ускорение темпов развития многолетних растений (Фомин, Фомина, 2021).

В связи с этим для целей экологического мониторинга лесных экосистем, оценки рисков возникновения природных пожаров, а также планирования

и проведения лесохозяйственных мероприятий в условиях современного изменения климата необходимо учитывать региональную специфику динамики основных климатических параметров.

Основы в области климатического районирования заложили работы по биоклиматическому соответствию растительности и климата (Кеппен, 1938), генетической классификации климата (Алисов, 1956) и энергобалансовому подходу (Будыко, 1971). В условиях нестационарности современного климата требуется адаптация классических подходов к районированию территории по основным климатическим параметрам, таким как температура воздуха и осадки, позволяющим учитывать особенности их пространственно-временной динамики в прошлом и будущем.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Цель исследования – анализ пространственно-временной динамики приземной температуры воздуха и атмосферных осадков на территории УрФО в период с 1950 по 2049 гг. для выделения однородных климатических зон.

Район исследований – Уральский федеральный округ (УрФО), координаты пространственных границ левого верхнего и правого нижнего углов – 73°30' с.ш., 57°05' в.д. и 51°57' с.ш., 86°00' в.д. соответственно. В административный состав изучаемого региона входят Курганская, Свердловская, Тюменская и Челябинская области, а также Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа. На территории УрФО с севера на юг последовательно сменяются несколько природных зон: тундра, лесотундра, тайга, лесостепь, степь (Национальный атлас России, 2006). Такое разнообразие природных зон делает УрФО уникальным полигоном для исследования динамики климатических трендов на региональном уровне.

Объект исследований – данные о климате (среднемесячная приземная температура воздуха и месячные суммы атмосферных осадков) за период 1950–2049 гг. В качестве источника информации о погоде был выбран глобальный набор сеточных биоклиматических индикаторов (Copernicus Climate Change Service, 2021). Фактические изме-

нения климатических параметров за период с 1950 по 2024 гг. прошли коррекцию систематических ошибок (bias-adjustment) по данным глобального метеорологического реанализа ERA5 (ECMWF, 2025). Сценарное прогнозирование за период с 2025 по 2049 гг. основывается на результатах модели BCC-CSM1-1-M Пекинского климатического центра в рамках жесткого сценария эмиссии парниковых газов RCP 8.5, предполагающего сохранение современных темпов антропогенного воздействия. Модель выбрана из-за высокого пространственного разрешения T106 (шаг сетки – приблизительно 1,125°), что превосходит стандартную детализацию большинства моделей поколения CMIP5. Кроме того, выбранная модель обладает наименьшими систематическими ошибками при воспроизведении исторических рядов температуры воздуха и режимов увлажнения в средних широтах Северной Евразии (How Well..., 2013; An Overview..., 2014; Evaluation of CMIP5..., 2021). Для приведения глобальных растровых данных к региональному охвату применялось их перепроецирование на базовую расчетную сетку (ESRI:102025) методом билинейной интерполяции с последующим маскированием по административным границам УрФО.

Климатические тренды оценивали по пятилетним интервалам (начиная с 1950 г.). Расчет температурного режима производился методом взвешенного временного осреднения с учетом фактического количества дней в месяце, а для режима увлажнения – путем вычисления среднегодовой суммы за пятилетие. В качестве референтного (базового) периода принято первое пятилетие временного интервала (1950–1954 гг.). Это позволяет оценить как общую тенденцию изменений климатического показателя, так и масштаб климатических сдвигов относительно середины XX в.

Расчет аномалии (ΔV_i) для каждого пикселя растра производили по формуле

$$\Delta V_i(x, y) = V_i(x, y) - V_{base}(x, y), \quad (1)$$

где V_i – абсолютное значение показателя (температуры или осадков) в текущее i -е пятилетие;

V_{base} – значение показателя в базовый период (1950–1954 гг.).

Для оценки структурных сдвигов в распределении температуры воздуха и атмосферных осадков применялся метод ядерной оценки плотности вероятности (Kernel Density Estimation, KDE). Данный статистический подход позволяет перейти от анализа отдельных экстремальных значений к оценке частоты их проявления с преобразованием набора дискретных данных в непрерывные кривые распределения вероятностей.

В связи с высокой вычислительной избыточностью обработки полного массива растровых данных анализ проводился на репрезентативной выборке объемом 10 000 точек со случайным расположением на растре для каждого пятилетия. В соответствии с классической методологией (Silverman, 1986) математическая оценка плотности в точке x рассчитывается как сумма взвешенных функций по формуле

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right), \quad (2)$$

где K – ядерная функция (в исследовании применялось Гауссово ядро),

h – параметр сглаживания (*bandwidth*),

n – объем выборки.

Для наглядной визуализации рассчитанных распределений плотности вероятности был применен метод «График гребней» (Ridgeline Plots), предложенный К. Уилке для сравнительного анализа временных рядов (Wilke, 2019). Для физической расшифровки полученных графиков используется методологический подход к анализу вероятности климатических экстремумов, систематизированный в отчетах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (IPCC, 2021).

Для анализа трендов климатических параметров было проведено зонирование территории УрФО при помощи метода многомерного кластерного анализа k -средних (метод *K-Means*). Особенностью алгоритма является полный отказ от использования пространственных координат (широты и долготы) в качестве признаков кластеризации. Каждый пиксель раstra рассматривался не как географическая точка, а как вектор значений климатического параметра в разные пятилетия исследуемого периода для этого пикселя в много-

мерном пространстве. Такой подход позволяет группировать пиксели исключительно на основе статистического подобия их «климатических историй» и прогнозных траекторий. Это означает, что к одной зоне могут быть отнесены географически удаленные друг от друга участки.

Математическим ядром процедуры кластеризации выступает итеративный алгоритм минимизации суммарной квадратичной ошибки (SSE). Целевая функция была направлена на поиск разбиения множества пикселей на непересекающиеся кластеры с минимальной внутрикластерной дисперсией и максимальными межкластерными различиями. Ключевым параметром алгоритма является количество выделяемых зон. В данном исследовании этот параметр определяли эвристически на основе экспертной оценки пространственной связности и физической интерпретируемости получаемых результатов (для температуры и для атмосферных осадков).

Всю вычислительную обработку данных, реализацию алгоритмов машинного обучения и построение графиков распределения плотности вероятности значений климатических параметров выполняли в среде статистического программирования *R* с использованием специализированных библиотек для пространственного анализа (*terra*, *sf*) и визуализации (*ggplot2*, *ggribes*). Итоговое картографическое оформление выделенных климатических зон осуществляли с применением геоинформационной системы QGIS (qgis.org).

Результаты и их обсуждение

Для оценки пространственно-временной динамики климата на территории УрФО был проведен анализ климатических трендов за период 1950–2049 гг. на базе ретроспективных данных и сценарного моделирования. На рис. 1 и 2 приведены картосхемы пространственного распределения аномалий средних пятилетних значений температуры воздуха и сумм осадков относительно таковых в базовом интервале 1950–1954 гг.

Сравнительный анализ картосхем температурных аномалий (см. рис. 1) показал, что в течение первых четырех пятилетий (1955–1974 гг.) после базового периода наблюдаются сопоставимые по

площади области потепления и похолодания. Начало роста температур прослеживается с середины 1970-х годов. К концу XX в. этот процесс развивался поступательно, за исключением кратковременного периода 1990–1994 гг., когда потепление отмечалось преимущественно в южной и восточной частях исследуемой территории. В XXI в. (с 2000 по 2024 гг.) макрорегиональная тенденция окончательно стабилизировалась: средняя температура воздуха увеличилась на 2,32 °С. Согласно

прогнозному сценарию, в период с 2025 по 2049 гг. данная динамика сохранится, и к концу исследуемого периода (2045–2049 гг.) среднее увеличение температуры достигнет 4,04 °С относительно базового периода.

В ходе проведения пространственного анализа аномалий средних пятилетних сумм осадков (см. рис. 2) установлено, что с 1955 по 1969 гг. в районе исследований наблюдалось расширение областей с отрицательными аномалиями осадков

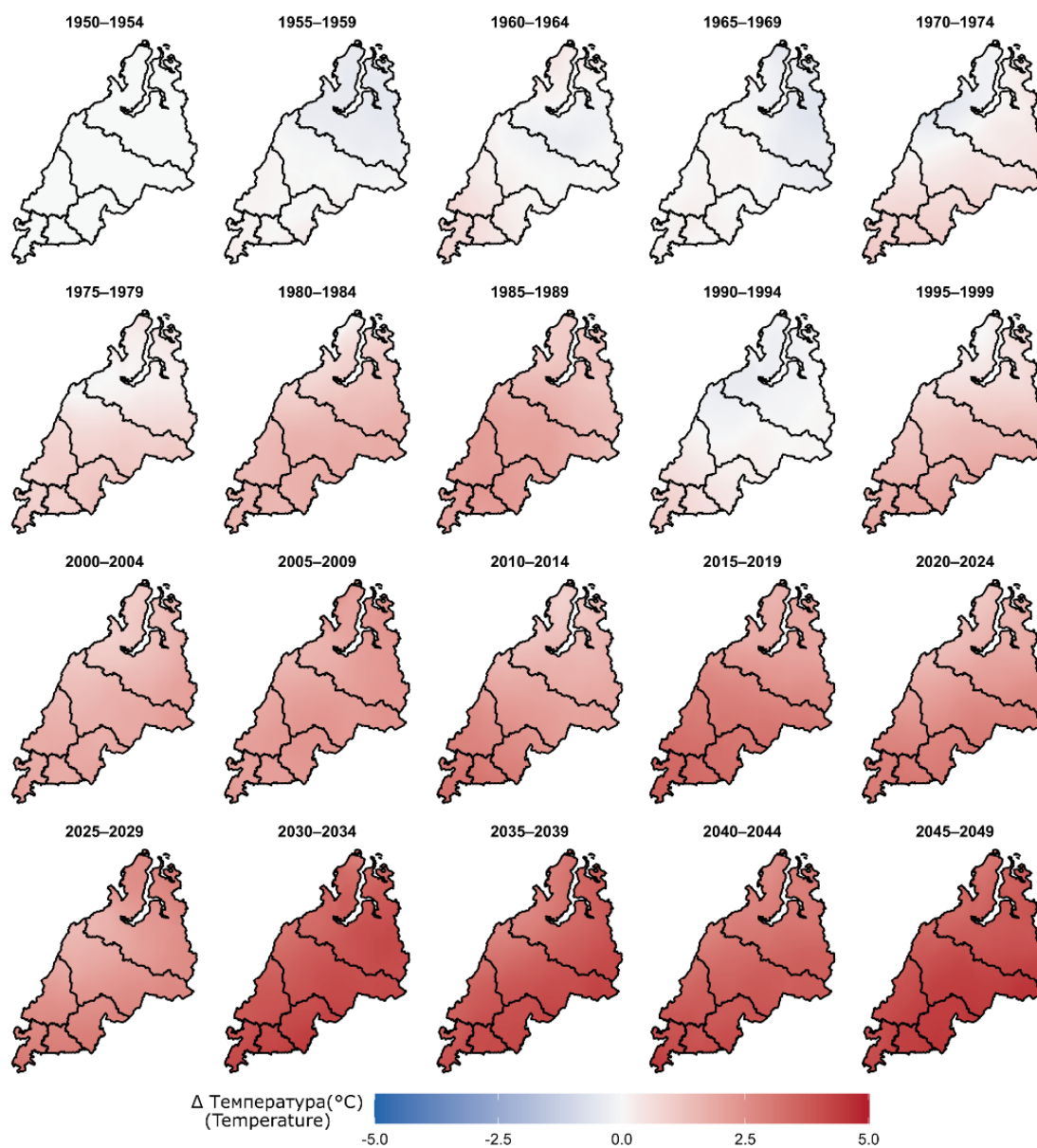


Рис. 1. Пространственное распределение аномалий средней температуры воздуха (ΔT , °С) за пятилетние периоды относительно такового в базовом периоде 1950–1954 гг.

Fig. 1. Spatial distribution of mean air temperature anomalies (ΔT , °С) for five-year periods relative to the 1950–1954 base period

относительно базового периода. Этот процесс начался на севере и постепенно распространился на центральные и южные участки исследуемого района. С 1970 по 1979 гг. на большей части исследуемой территории отмечалось увеличение количества осадков.

С 1980 по 1994 гг. на большей части территории преобладала тенденция к сокращению осадков, которая сменилась на тенденцию к их увеличению в течение 1995–2014 гг. Завершился этот этап сокращением количества осадков вдоль условно

выделенной центральной оси района исследований в 2015–2019 гг. На период 2020–2049 гг. формируется и, согласно прогнозируемому сценарию, сохранится устойчивая тенденция к увеличению количества осадков на большей части исследуемой территории.

При этом распределение осадков остается неравномерным: на фоне минимального прироста в 3,5 мм локальное увеличение значений данного параметра достигает 251,1 мм относительно такового в базовый период.

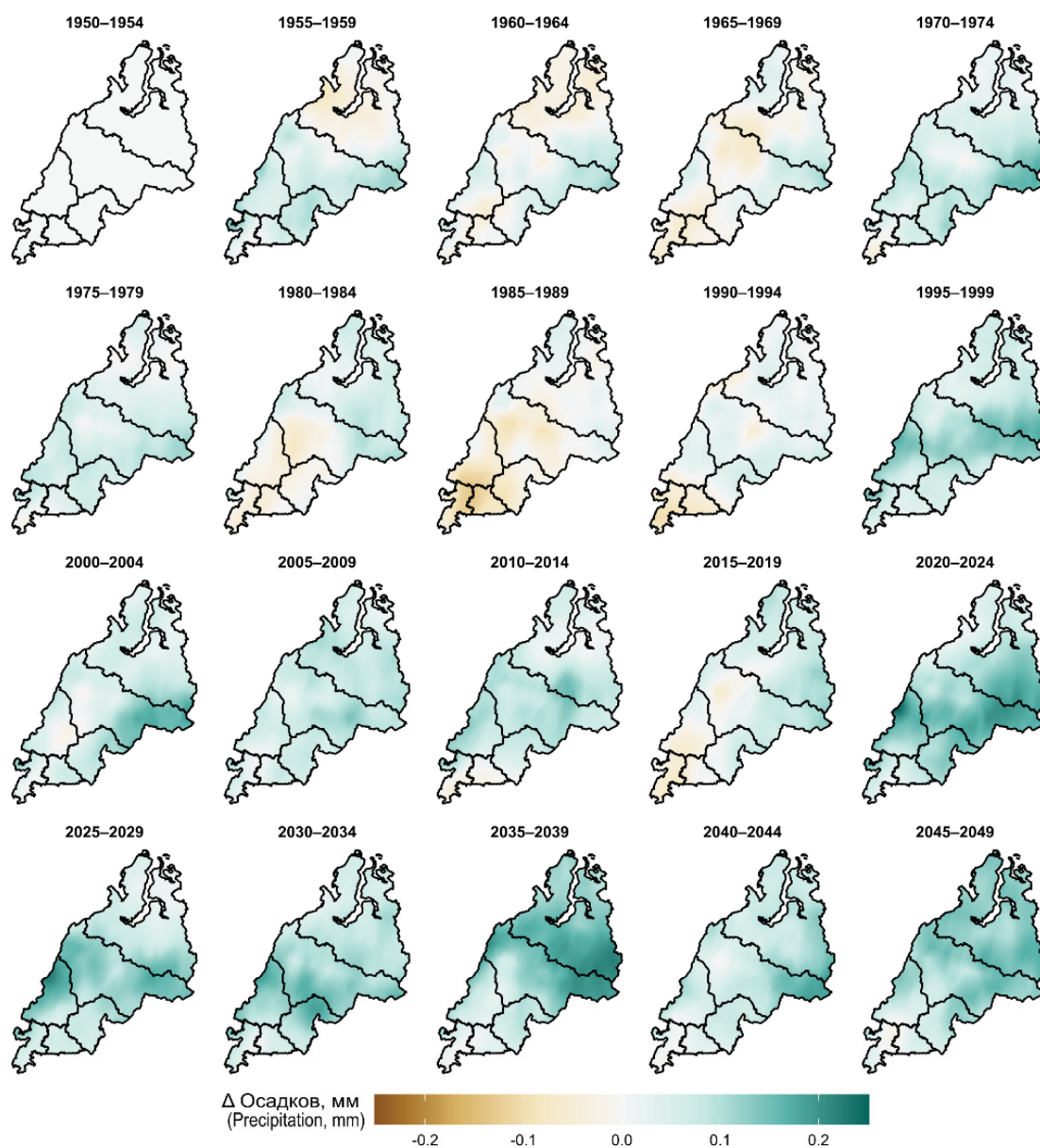


Рис. 2. Пространственное распределение аномалий средних значений суммы осадков (Δ Осадков, мм) за пятилетние периоды относительно такового в базовый период 1950–1954 гг.

Fig. 2. Spatial distribution of mean precipitation anomalies (Δ Precipitation, mm) for five-year periods relative to the 1950–1954 base period

Чтобы оценить структурные изменения климата, по выбранным параметрам были построены графики распределения средней температуры воздуха (рис. 3) и сумм осадков (рис. 4) по пятилетиям. Формы этих распределений характеризуют особенности динамики климатической системы: смещение кривых отражает изменение средних показателей, а их расширение указывает на рост

дисперсии. Это означает, что при таком сочетании факторов климат становится не только более теплым и влажным, но и более нестабильным. Последнее повышает вероятность возникновения экстремальных погодных аномалий.

Кривые распределения средней температуры воздуха (см. рис. 3) на протяжении всего исследуемого периода демонстрируют выраженный сдвиг

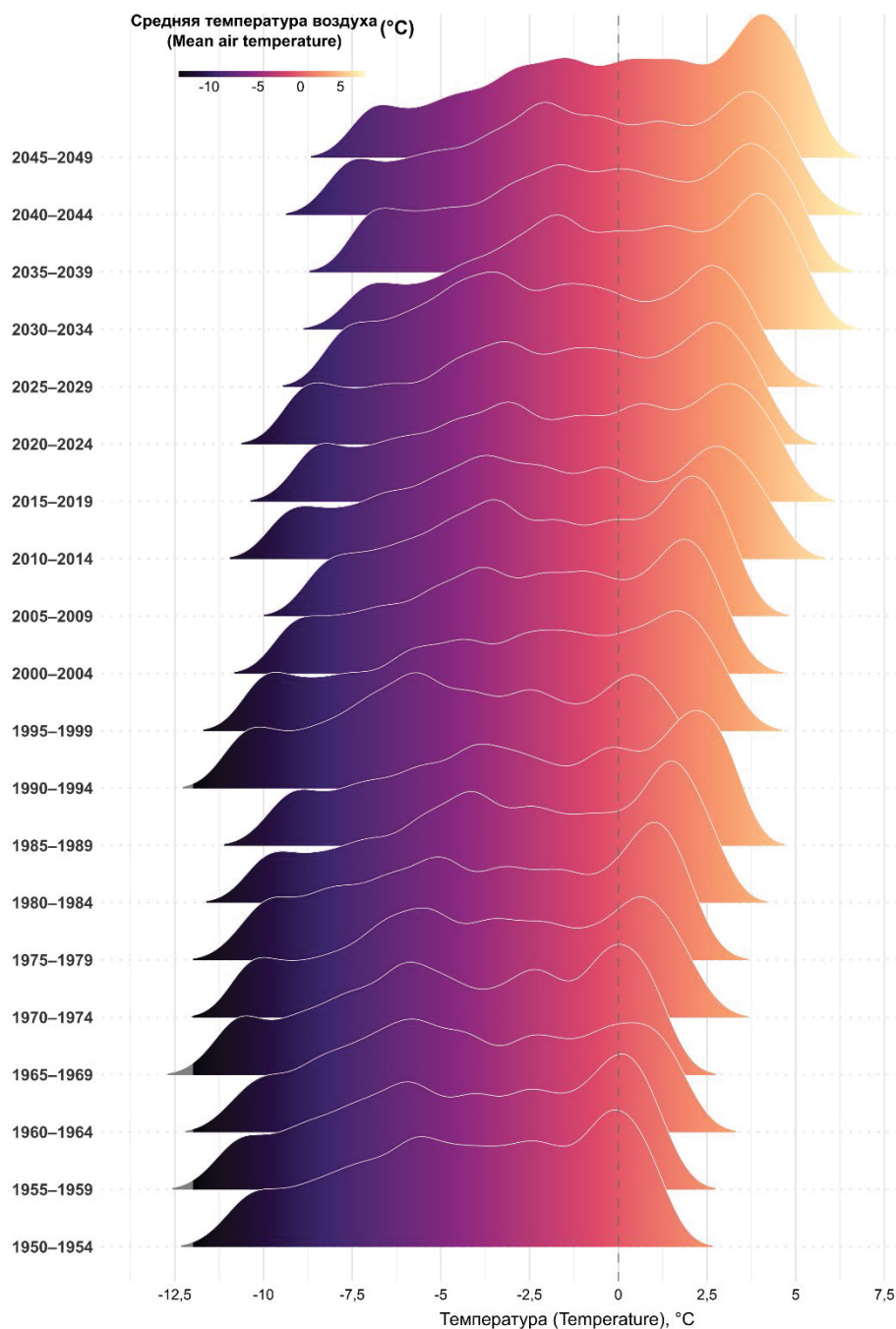


Рис. 3. Распределение средней температуры воздуха по пятилетиям на территории Уральского федерального округа

Fig. 3. Distributions of mean air temperature by five-year periods in the territory of the Ural Federal District

вправо, т. е. смещение вправо математического ожидания. Это свидетельствует об устойчивой тенденции к потеплению. Также наблюдается небольшое увеличение дисперсии: стандартное отклонение возрастает с $3,43^{\circ}\text{C}$ в базовом периоде до

$3,66^{\circ}\text{C}$ в прогнозном. Даже такое незначительное увеличение дисперсии в комбинации со сдвигом среднего значения (на $4,04^{\circ}\text{C}$) дает нелинейный эффект,кратно увеличивая вероятность и частоту экстремальных тепловых аномалий.

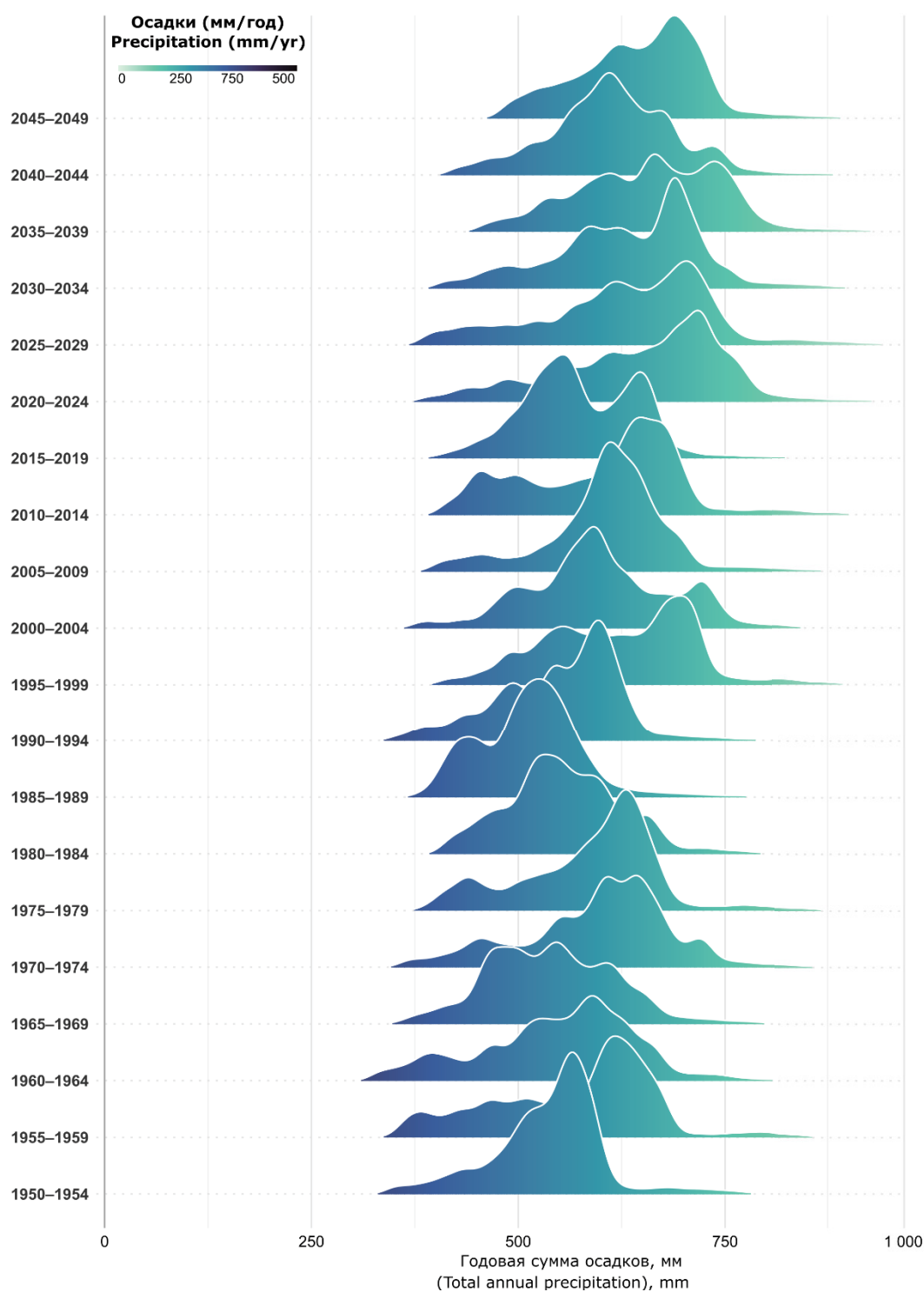


Рис. 4. Распределение средних сумм атмосферных осадков по пятилетиям на территории Уральского федерального округа

Fig. 4. Distribution of mean atmospheric precipitation by five-year periods in the territory of the Ural Federal District

Подобные изменения также можно видеть на распределениях средних сумм атмосферных осадков по пятилетиям (см. рис. 4): смещение математического ожидания вправо, но менее выраженное, чем на рис. 3. Данный факт определяет тенденцию к увеличению количества осадков исследуемой территории. При этом наблюдается ярко выраженное увеличение дисперсии. Стандартное отклонение возрастает с 70,50 мм в середине XX в. до 75,83 мм к середине XXI в.

Расширение основания кривой в совокупности со снижением высоты пика указывает на существенный рост контрастности режима увлажнения. При общей тенденции к гумидизации наблюдается крайне неравномерное распределение избытка влаги по всей территории округа. Физическая интерпретация данного явления заключается в повышении вероятности возникновения длительных засушливых периодов и периодов с высоким уровнем выпадения атмосферных осадков.

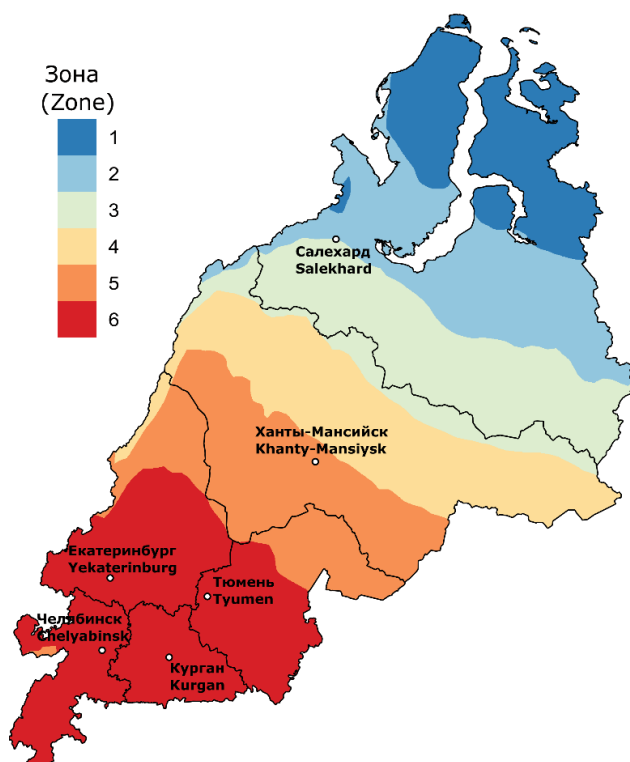


Рис. 5. Картограмма районирования территории Уральского федерального округа по средним пятилетним значениям температуры воздуха, выполненная методом *K-means*

Fig. 5. Zoning map of the Ural Federal District based on mean five-year air temperature values, calculated using the *K-means* method

С целью детализации пространственной структуры выявленных климатических трендов выполнено зонирование территории УрФО. Границы климатических зон, полученные методом *K-Means*, рассматриваются как линии статистического равновесия. Физическая интерпретация климатических зон – это не резкое изменение значений параметра, а условный порог перехода, за которым преобладающая тенденция изменения климата одной зоны сменяется тенденцией другой. Такая дискретизация непрерывного пространства позволяет перейти к конечному числу типовых сценариев.

На рис. 5 представлена картограмма климатического районирования, выполненная по средним пятилетним значениям температуры воздуха за весь период 1950–2049 гг.

Ход значений температуры в пределах шести выделенных кластеров (рис. 6) демонстрирует устойчивый тренд ее повышения для всех зон. Сравнительный анализ графиков свидетельствует о синхронном изменении температуры в большинстве кластеров. Исключение составляет период 2020–2030 гг., когда в двух самых северных зонах (1 и 2) и остальных зонах (3–6) наблюдается встречный (антибатный) ход кривых. Расчет координат центроидов (усредненных показателей для каждой зоны) характеризует масштаб выявленных трансформаций: в самой северной холодной зоне (зона 1) средняя температура возрастает с минус 9,92 °С в базовом периоде до минус 6,35 °С к 2045–2049 гг. В то же время в наиболее теплой южной зоне (зона 6) прогнозируется потепление с 0,23 °С до 4,49 °С. При этом, согласно прогнозному сценарию, в период 2040–2049 гг. средняя температура воздуха в двух северных зонах будет возрастать более интенсивно, чем в южных.

На фоне выявленного повсеместного роста значений температуры режим увлажнения характеризуется более сложной пространственной дифференциацией. Картограмма зонирования территории по средним пятилетним суммам осадков (рис. 7) наглядно демонстрирует, что распределение осадков обладает значительно более выраженной пространственной изменчивостью, чем температурный режим.

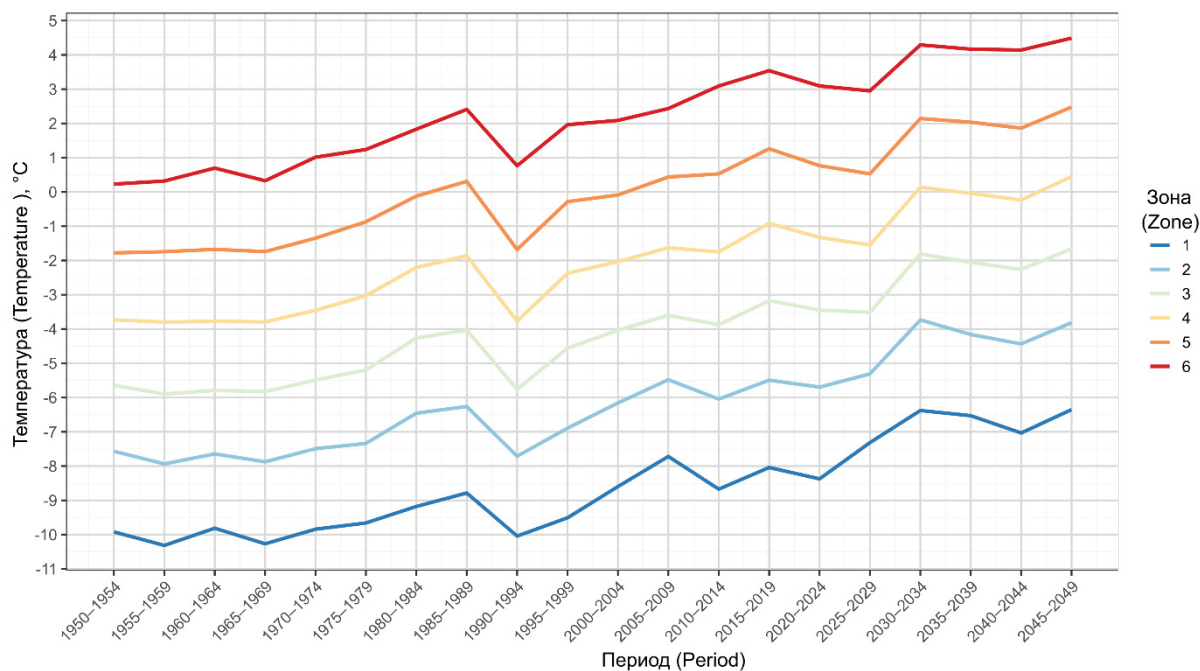


Рис. 6. Ход средних значений температуры воздуха в шести климатических зонах Уральского федерального округа (границы зон приведены на рис. 5)

Fig. 6. Time series of mean air temperature in six climatic zones of the Ural Federal District (zone boundaries are shown in Fig. 5)

Анализ графиков хода значений пятилетних сумм осадков в пределах выделенных кластеров (рис. 8) подтверждает устойчивый тренд увеличения их количества во времени. В зоне 1 (наиболее засушливой) средние суммы осадков возрастают с 422,5 мм до 539,8 мм. Максимальные абсолютные значения характерны для зоны 5 (избыточного увлажнения), где прогнозируется рост с 742,5 мм до 832,9 мм. Сравнительный анализ временных рядов показывает, что для зон 2–5 характерен синхронный ход графиков, в то время как для зоны 1 (северной) в отдельные временные интервалы наблюдается антибатный ход. Установлено, что амплитуда колебаний суммы пятилетних осадков возрастает по мере увеличения их среднегодового количества. Максимальный разброс значений фиксируется в горных районах с избыточным увлажнением (верхняя темно-зеленая линия рис. 8, зона 5), тогда как на севере режим осадков обладает наименьшей вариабельностью и отличается большей стабильностью (нижняя коричневая линия на рис. 8, зона 1).

Проведенный комплексный анализ средних пятилетних значений температуры воздуха и сумм

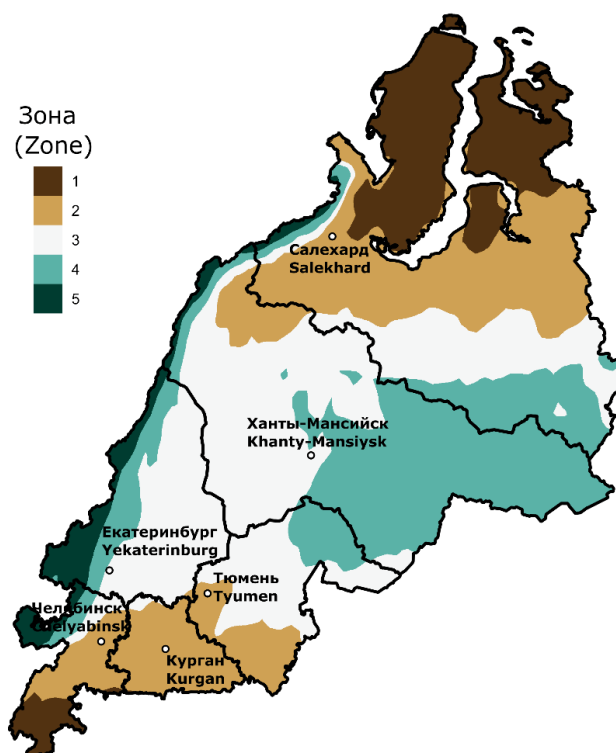


Рис. 7. Картограмма районирования территории Уральского федерального округа по средним пятилетним суммам осадков, выполненная методом *K-means*

Fig. 7. Zoning map of the Ural Federal District based on mean five-year precipitation, performed using the *K-means* method

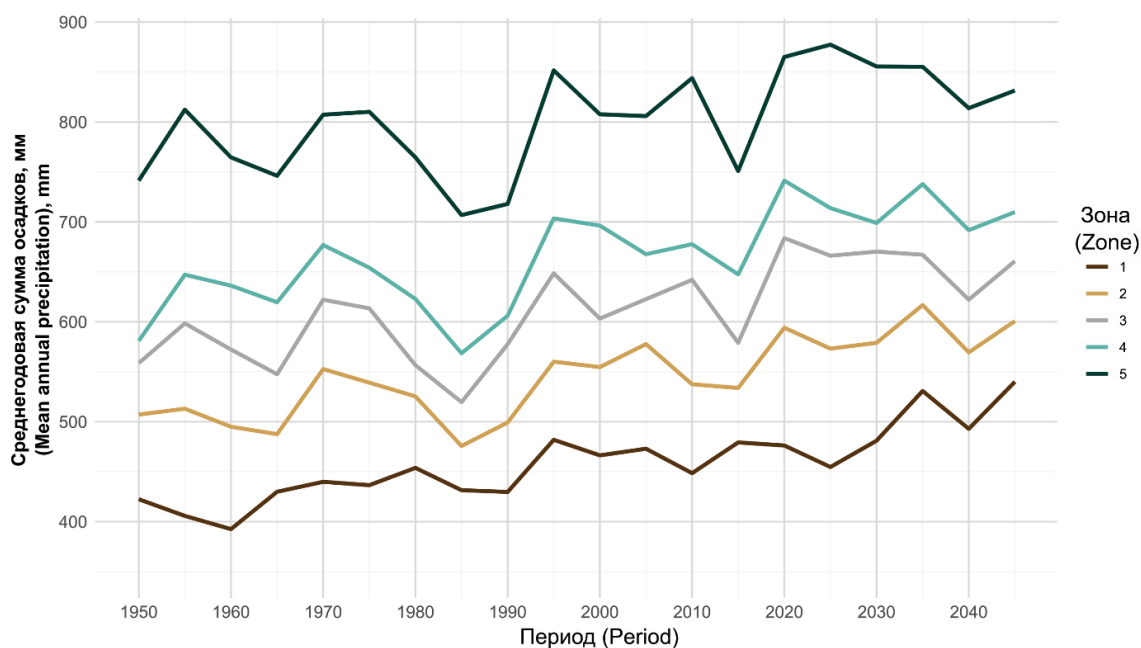


Рис. 8. Ход средних пятилетних сумм осадков в пяти климатических зонах Уральского федерального округа (границы зон приведены на рис. 7)
Fig. 8. Time series of mean five-year precipitation in five climatic zones of the Ural Federal District (zone boundaries are shown in Fig. 7)

осадков позволил выявить ключевые климатические тренды на территории Уральского федерального округа.

В данном регионе наблюдается устойчивый тренд к повышению температуры воздуха и увеличению количества атмосферных осадков, однако синхронного увеличения температуры и осадков по отдельным пятилетиям не обнаружено. Для атмосферных осадков характерна значительно более высокая пространственная неоднородность, чем для температуры.

Выполненное климатическое зонирование свидетельствует о том, что рост температуры воздуха охватывает весь исследуемый регион, при этом северные территории нагреваются интенсивнее южных. Районирование по пятилетним суммам осадков показывает устойчивую зональную неоднородность, в которой прослеживается синхронный тренд к увеличению пятилетних сумм осадков.

Выводы

1. Проведен анализ пространственно-временной динамики приземной температуры воздуха и атмосферных осадков на территории УрФО за период 1950–2049 гг. Установлен устойчивый тренд к повышению температуры и увеличению количества осадков.

2. Установлено, что при общей тенденции к гумидизации климата, наблюдается крайне неравномерное распределение осадков по всей территории округа, а также увеличение вероятности и частоты экстремальных тепловых аномалий. Это означает повышение вероятности возникновения длительных засушливых периодов и периодов с высоким уровнем выпадения атмосферных осадков.

3. Выполнено климатическое зонирование УрФО с использованием метода *K-Means* (шесть температурных зон и пять зон по режиму увлажнения). Разработанная схема районирования отражает пространственную структуру климатических трендов и может быть использована для мониторинга и прогнозирования изменений окружающей среды в лесных экосистемах.

Список источников

- Алисов Б. П. Климатические области и районы СССР. М. : Географгиз, 1956. 224 с.
- Будыко М. И. Климат и жизнь. Л. : Гидрометеиздат, 1971. 470 с.
- Залесов С. В., Платонов Е. П., Платонова Е. Ю. Пожары и их последствия в Западной Сибири. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 191 с.
- Кеппен В. П. Основы климатологии. М. : Учпедгиз, 1938. 375 с.
- Королева Т. С., Константинов А. В., Кушнир Е. А. Оценка влияния наблюдаемых эффектов климатической изменчивости на устойчивость лесных экосистем Российской Федерации к угрозе массовых размножений вредителей и болезней леса // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6, № 4 (24). С. 67–79.
- Национальный атлас России. В 4 т. Т. 2: Природа. Экология. М. : Роскартография, 2006. 496 с.
- Особенности пожароопасного сезона 2022 года в Курганской области / А. М. Ерицов, И. М. Секерин, А. А. Кректунов, С. В. Залесов // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2023. Т. 27, № 4. С. 73–80.
- Рубцов В. В., Уткина И. А. Реакция лесных насекомых-филлофагов на современное изменение климата // Лесоведение. 2019. № 5. С. 375–384.
- Третьяков П. Д., Пономарев Е. И. Горимость арктической зоны Сибири в условиях климатических изменений XX – начала XXI вв. // Сибирский лесной журнал. 2023. Т. 6. С. 17–31.
- Фомин Э. С., Фомина Т. И. Изменение фенологии многолетних растений в Западной Сибири на фоне глобального потепления климата // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 5. С. 543–556.
- Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
- An Overview of BCC Climate System Model Development and Application for Climate Change Studies / T. Wu, L. Song, W. Li [et al.] // Acta Meteorologica Sinica. 2014. Vol. 28, № 1. P. 34–56.
- Copernicus Climate Change Service. Global bioclimatic indicators from 1950 to 2100 derived from climate projections : [dataset]. Version 1.0. 2021. DOI: 10.24381/cds.a37fecb7. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-biodiversity-cmip5-global?tab=download> (accessed 24.12.2025).
- ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) : [dataset]. 2025. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5> (accessed 21.12.2025).
- Evaluation of CMIP5 Climate Models Using Historical Surface Air Temperatures in Central Asia / Y. Xiong, Z. Ta, M. Gan [et al.] // Atmosphere. 2021. Vol. 12, № 3. Art. 308. URL : <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/3/308> (accessed 21.12.2025).
- How Well does BCC_CSM1.1 Reproduce the 20th Century Climate Change over China? / X.-G. Xin, T.-W. Wu, J.-L. Li [et al.] // Atmospheric and Oceanic Science Letters. 2013. Vol. 6, № 1. P. 21–26.
- IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani [et al.]. Cambridge : Cambridge University Press, 2021. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (accessed 21.12.2025).
- Silverman B. W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London : Chapman & Hall, 1986. 175 p.
- Wilke C. O. Fundamentals of Data Visualization: A Primer on Making Informative and Compelling Figures. Sebastopol : O'Reilly Media, 2019. 390 p.

References

- Alisov B. P. Climatic Regions and Areas of the USSR. Moscow : Geografiz, 1956. 224 p.
- An Overview of BCC Climate System Model Development and Application for Climate Change Studies / T. Wu, L. Song, W. Li [et al.] // Acta Meteorologica Sinica. 2014. Vol. 28, № 1. P. 34–56.
- Budyko M. I. Climate and Life. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1971. 470 p.

- Copernicus Climate Change Service. Global bioclimatic indicators from 1950 to 2100 derived from climate projections : [dataset]. Version 1.0. 2021. DOI: 10.24381/cds.a37fecb7. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-biodiversity-cmip5-global?tab=download> (accessed 24.12.2025).
- ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) : [dataset]. 2025. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5> (accessed 21.12.2025).
- Evaluation of CMIP5 Climate Models Using Historical Surface Air Temperatures in Central Asia / *Y. Xiong, Z. Ta, M. Gan* [et al.] // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, № 3. Art. 308. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/3/308> (accessed 21.12.2025).
- Features of the 2022 fire season in the Kurgan region / *A. M. Eritsov, I. M. Sekerin, A. A. Krektunov, S. V. Zalesov* // *Forestry Bulletin*. 2023. Vol. 27, № 4. P. 73–80. (In Russ.)
- Fomin E. S., Fomina T. I.* Changes in the Phenology of Perennial Plants in Western Siberia Against the Background of Global Warming // *Siberian Ecological Journal*. 2021. Vol. 28, № 5. P. 543–556. (In Russ.)
- How Well does BCC_CSM1.1 Reproduce the 20th Century Climate Change over China? / *X.-G. Xin, T.-W. Wu, J.-L. Li* [et al.] // *Atmospheric and Oceanic Science Letters*. 2013. Vol. 6, № 1. P. 21–26.
- IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / *V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani* [et al.]. Cambridge : Cambridge University Press, 2021. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (accessed 21.12.2025).
- Keppen V. P.* Fundamentals of Climatology. Moscow : Uchpedgiz, 1938. 375 p.
- Koroleva T. S., Konstantinov A. V., Kushnir E. A.* Assessment of the Influence of Observed Effects of Climate Variability on the Resilience of Forest Ecosystems of the Russian Federation to the Threat of Mass Breeding of Forest Pests and Diseases // *Journal of Forest Engineering*. 2016. Vol. 6, № 4 (24). P. 67–79. (In Russ.)
- National Atlas of Russia. In 4 volumes. Vol. 2 : Nature. Ecology. Moscow : Roskartografiya, 2006. 496 p.
- Rubtsov V. V., Utkina I. A.* Response of forest phyllophagous insects to modern climate change // *Lesovedenie*. 2019. № 5. P. 375–384.
- Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G.* Climate Change and Forest Fires in Russia // *Forest Science*. 2013. № 5. P. 50–61. (In Russ.)
- Silverman B. W.* Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London : Chapman & Hall, 1986. 175 p.
- Tretyakov P. D., Ponomarev E. I.* Flammability of the Arctic Zone of Siberia under Climate Change Conditions of the 20th – Early 21st Centuries // *Siberian Forestry Journal*. 2023. Vol. 6. P. 17–31. (In Russ.)
- Wilke C. O.* Fundamentals of Data Visualization: A Primer on Making Informative and Compelling Figures. Sebastopol : O'Reilly Media, 2019. 390 p.
- Zalesov S. V., Platonov E. P., Platonova E. Yu.* Fires and Their Consequences in Western Siberia. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2022. 191 p.

Информация об авторах

Д. Д. Стратонов – преподаватель высшей категории;
В. В. Фомин – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

D. D. Stratonov – Lecturer of the highest category;
V. V. Fomin – Doctor of Biological Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 23.06.2026; принята к публикации 10.08.2026.
The article was submitted 23.06.2026; accepted for publication 10.08.2026.
