

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.М. КИРОВА»

---

ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ  
АКАДЕМИИ

Выпуск 253

*Издаются с 1886 года*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2025

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

**И.А. Мельничук**, канд. с.-х. наук, доц., СПбГЛТУ

Заместитель главного редактора

**А.А. Добровольский**, канд. с.-х. наук, доц., СПбГЛТУ

Ответственный секретарь

**И.А. Зверев**, канд. техн. наук, СПбГЛТУ

Члены совета

**А.В. Жигунов**, д-р с.-х. наук, проф., СПбГЛТУ,

**А.В. Васильев**, д-р хим. наук, проф., СПбГЛТУ, СПбГУ,

**А.В. Селиховкин**, д-р биол. наук, проф., СПбГЛТУ, СПбГУ,

**А.Н. Чубинский**, д-р техн. наук, проф., СПбГЛТУ

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**В.А. Александров**, д-р техн. наук, проф., СПбГЛТУ, УГТУ,

**А.С. Алексеев**, д-р геогр. наук, проф., СПбГЛТУ,

**М.Н. Белгасем**, д-р хим. наук, проф., Гренобльский технологический институт,

**Н.В. Беляева**, д-р с.-х. наук, проф., СПбГЛТУ,

**А.В. Васильев**, д-р хим. наук, проф., СПбГЛТУ, СПбГУ,

**Н.В.К. Вебер**, д-р с.-х. наук, проф., Дрезденский технический университет (Германия),

**А.Ю. Виноградов**, д-р техн. наук, проф., СПбГЛТУ,

**Е.В. Голосова**, д-р с.-х. наук, проф., ФГБУН «Ордена трудового красного знамени Никитский ботанический сад – национальный научный центр РАН» (Московское представительство), СПбГЛТУ,

**Д.А. Данилов**, д-р с.-х. наук, СПбГЛТУ, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха,

**К. Деглиз**, проф., Университет Лотарингии,

**Д.В. Евтюгин**, д-р хим. наук, профессор, Университет Авейру (Португалия),

**А.В. Жигунов**, д-р с.-х. наук, проф., СПбГЛТУ,

**С.В. Залесов**, д-р с.-х. наук, проф., УГЛТУ,

**М.Е. Игнатьева**, канд. с.-х. наук, проф., Университет Западной Австралии (Австралия),

**А.А. Леонович**, д-р техн. наук, проф., СПбГЛТУ,

**С.С. Макаров**, д-р с.-х. наук, РГАУ-МСХА им. Тимирязева,

**М.Ю. Мандельштам**, д-р биол. наук, доц., СПбГЛТУ,

**Д.Л. Мусолини**, д-р биол. наук, доц., Европейская и Средиземноморская организации по карантину и защите растений (Франция),

**В.Ю. Нешатаев**, д-р биол. наук, доц., СПбГЛТУ,

**В.Н. Петров**, д-р экон. наук, проф., СПбГЛТУ,

**Е.К. Потокзина**, д-р биол. наук, проф., СПбГЛТУ, СПБНИИЛХ,

**А.В. Пранович**, д-р биол. наук, Академия Або,

**В.Г. Санаев**, д-р техн. наук, проф., БГТУ им. Н.Э. Баумана,

**А.В. Селиховкин**, д-р биол. наук, проф., СПбГЛТУ, СПбГУ,

**А.П. Соколов**, д-р техн. наук, проф., ПетрГУ,

**С.А. Угрюмов**, д-р техн. наук, проф., СПбГЛТУ,

**Л.В. Уткин**, д-р техн. наук, проф., СПбГУ, СПбГЛТУ,

**Д.М. Черниковский**, д-р с.-х. наук, доц., СПбГЛТУ,

**А.Н. Чубинский**, д-р техн. наук, проф., СПбГЛТУ,

**А.П. Смирнов**, д-р с.-х. наук, проф., СПбГЛТУ,

**Е.Г. Хитров**, д-р техн. наук, СПбГЛТУ, СПбПУ,

**А.В. Шелоумов**, д-р техн. наук, СПбГЛТУ,

**Р.В. Щекалев**, д-р с.-х. наук, СПбГЛТУ,

**В.Т. Ярмишко**, д-р биол. наук, проф., СПбГЛТУ, БИН РАН

*Адрес редакции, издателя,*

*типографии:* 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, литер У. *Сайт организации:* [www.spbfu.ru](http://www.spbfu.ru)

Факс: (812) 670-93-90

*Сайт издания:* [izvestia.spbfu.ru](http://izvestia.spbfu.ru)

Тел.: (812) 670-92-59

*E-mail:* [izvestiya.spblta@mail.ru](mailto:izvestiya.spblta@mail.ru)

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия Российской Федерации. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-23613 от 10.03.2006.

УДК 630

**Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии:** Вып. 253. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2025. – 364 с. – ISBN 978-5-9239-1518-1, ISSN-р: 2079-4304, ISSN-е: 2658-5871.

В очередном выпуске сборника научных трудов «Известия СПбЛТА» представлены результаты текущих исследований по лесному хозяйству, лесозаготовкам и механизации лесосечных работ, механической и химической переработке древесины. Сборник предназначен для работников лесного комплекса, преподавателей, аспирантов, студентов и выпускников лесотехнических вузов, сотрудников НИИ лесного профиля.

Темплан 2025 г. Изд. № 214

ISBN 978-5-9239-1518-1

ISSN-р: 2079-4304, ISSN-е: 2658-5871

© Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова (СПбГЛТУ), 2025

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
State Budget Institution of Higher Education  
«SAINT PETERSBURG STATE FOREST TECHNICAL UNIVERSITY  
NAMED AFTER S.M. KIROV»

---

IZVESTIA  
SANKT-PETERBURGSKOJ  
LESOTEHNICESKOJ  
AKADEMII

Issue 253

*Published since 1886*

SAINT PETERSBURG  
2025

## EDITORIAL COUNCIL

Editor-in-Chief

**I. Melnichuk**, PhD (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University

Deputy Editor-in-Chief

**A.A. Dobrovolsky**, PhD (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University

Executive Secretary

**I.A. Zverev**, PhD (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University

Council members

**A.V. Zhigunov**, DSc (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.V. Vasiliev**, DSc (Chemical) St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.V. Selikhovkin**, DSc (Biology), St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.N. Chubinsky**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University

## EDITORIAL BOARD

**V.A. Aleksandrov**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.S. Alekseev**, DSc (Geography) St. Petersburg State Forest Technical University,

**N. Belgacem**, PhD, Grenoble Institute of Engineering (Grenoble),

**N.V. Belyaeva**, DSc (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.V. Vasiliev**, St. Petersburg State Forest Technical University,

**N. Weber**, PhD, Dresden Technical University (Dresden),

**A.Yu. Vinogradov**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University,

**E.V. Golosova**, DSc (Agriculture), Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden –

National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Moscow),

**D.A. Danilov**, DSc (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University,

**X. Deglise**, PhD, International Academy of Wood Sciences (Hamburg)

**D.V. Evtyugin**, PhD, University of Aveiro (Aveiro),

**A.V. Zhigunov**, DSc (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University,

**S.V. Zalesov**, DSc (Agriculture), Ural State Forest Engineering University (Ekaterinburg),

**M.E. Ignateva**, PhD, University of Western Australia (Perth),

**A.A. Leonovich**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University,

**S.S. Makarov**, DSc (Agriculture), Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural,

**M.Yu. Mandelsham**, DSc (Biology), St. Petersburg State Forest Technical University,

**D.L. Musolin**, DSc (Biology), European and Mediterranean Plant Protection Organization (France),

**V.Yu. Neshataev**, DSc (Biology), St. Petersburg State Forest Technical University,

**V.N. Petrov**, DSc (Economics), St. Petersburg State Forest Technical University,

**E.K., Potokina**, DSc (Biology), St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.V. Pranovich**, PhD, Abo Akademi University (Turku),

**V.G. Sanaev**, DSc (Technical), Bauman Moscow State Technical University (Moscow),

**A.V. Selikhovkin**, DSc (Biology), St. Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg State University,

**A.P. Sokolov**, DSc (Technical), Petrozavodsk State University (Petrozavodsk),

**S.A. Ugrumov**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University,

**L.V. Utkin**, DSc (Technical), Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

**D.M. Chernikhovskii**, DSc (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.N. Chubinsky**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University,

**A.P. Smirnov**, DSc (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University,

**E.G. Khitrov**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

**A.V. Sheloumov**, DSc (Technical), St. Petersburg State Forest Technical University,

**R.V. Shechekalev**, DSc (Agriculture), St. Petersburg State Forest Technical University,

**V.T. Yarmishko**, DSc (Biology), Komarov Botanical Institute of RAS

*Address of the Editorial Office,*

*Publisher, Printing House* 194021, Russia, St. Petersburg, Institutskiy per., 5, lit. U. *Organization's website:* [www.spbftu.ru](http://www.spbftu.ru)

*Fax:* +7(812)670-93-90.

*Serial's website:* [izvestia.spbftu.ru](http://izvestia.spbftu.ru)

*Tel.:* +7(812)670-92-59.

*E-mail:* [izvestiya.spbfta@mail.ru](mailto:izvestiya.spbfta@mail.ru)

The serial is registered by the Federal service on supervision of legislation observance in the sphere of mass communications and protection of cultural heritage of the Russian Federation. The certificate on registration of mass media of PI no. FS77-23613 of 10.03.2006.

UDC 630

**Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii:** Iss. 253. Saint-Petersburg.: SPbFTU, 2025. – 364 p. – ISBN 978-5-9239-1518-1, ISSN-p: 2079-4304, ISSN-e: 2658-5871.

The next release of «Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii» represents results of the current researches on forestry, logging and mechanization of logging, mechanical and chemical processing of wood. The papers are intended for workers of the forest complex, teachers, scientists and graduate students of forest, agricultural and biological higher education institutions, staff of scientific research institutes in the field of forest sciences.

Templan 2025 r. Izd. N 214

ISBN 978-5-9239-1518-1

ISSN-p: 2079-4304, ISSN-e: 2658-5871

© Saint Petersburg State Forest Technical University (SPbFTU), 2025

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

В сборнике научных трудов «Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии» публикуются оригинальные научные и обзорные статьи, отдельные разделы диссертаций, материалы о патентах и внедрении в производство законченных научных работ, статьи о проблемах высшего лесотехнического образования, об истории становления лесного хозяйства, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. «Известия СПбЛТА» издаются с 1886 года, выходят четыре раза в год и являются научным изданием лесотехнического профиля, включенным ВАК РФ в новый 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. С 2005 года «Известия СПбЛТА» включены в систему по созданию российского индекса научного цитирования (РИНЦ) – [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru). Издание включено в Каталог «Пресса России» (индекс 11215).

Издание предназначено для работников лесного комплекса, преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, студентов лесотехнических вузов, НИИ лесного профиля и выпускников университета. «Известия СПбЛТА» принимают публикации на русском, английском и немецком языках зарубежных и отечественных авторов, поддерживающих развитие международного сотрудничества в области наук о лесе и древесине. Надеемся, что каждый читатель найдет здесь статью по своим интересам.

Все замечания и пожелания будут обязательно рассмотрены и по возможности учтены в последующих изданиях. Просим направлять их по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, редакция «Известий СПбЛТА», или [izvestiya.spblta@mail.ru](mailto:izvestiya.spblta@mail.ru).

*Редколлегия*

# 1. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

---

УДК 630.58

А.П. Богданов, А.С. Ильинцев

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ЛИСТВЕННОСТИ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД НА МАТЕРИАЛАХ СЪЕМКИ SENTINEL-2

*Введение.* Материалы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и методы, основанные на их применении, являются технической основой для проведения экологического мониторинга. Применение аэрокосмических методов позволяет эффективно проводить мониторинговые работы и научные исследования. Грамотное применение сезонных особенностей отображения древесных пород на аэрокосмоснимках повышает точность и эффективность лесоучетных работ [Жарко, Баргалева, 2014]. Материалы дистанционного наблюдения могут быть основой для определения фенологических фаз путем объединения полевых исследований с временными рядами Landsat-8 и Sentinel-2 [Shen et al., 2021]. ДЗЗ является эффективным инструментом для сбора и получения информации о количественных и качественных характеристиках лесов [Rees et al., 2021]. Информация о видовом составе лесных насаждений важна для эффективного лесоуправления и для сохранения редких древесных видов и лесных экосистем. Применение серии космоснимков на территорию исследования может служить основой для анализа изменений растительного покрова [Алексеев, Черниховский, 2023] и оценки уровня биоразнообразия по состоянию ценных для сохранения биоразнообразия экосистем [Monteiro et al., 2023]. Сохранение генетического разнообразия Европейского Севера является актуальной задачей. Применение ДЗЗ может быть полезно при инвентаризации насаждений лиственницы (*Larix* spp.) [Punalekar et al., 2021].

Доступ к космической съемке широкому кругу заинтересованных лиц открывает большие возможности для картографирования древесных пород. С распространением беспилотных воздушных судов (БВС) появилась возможность делать аэроснимки с высоким пространственным разрешением, по которым можно более точно идентифицировать объекты наблюдения [Шошина и др., 2023]. В работе использованы космические снимки, вы-

полненные с космического летательного аппарата Sentinel-2 и аэрофото- снимки с беспилотного воздушного судна DJI Mini.

Благодаря высокому пространственному, спектральному и временному разрешению использование космической съемки целесообразно для изучения особенностей спектрального отображения лиственницы в осенний период и дальнейшего ее картографирования на значительной территории. Применение съемки, полученной с БВС в октябре, и проведенные полевые работы позволили выделить отдельные кроны лиственниц для дальнейшего изучения на космоснимке. Для развития автоматизированных методов дешифрирования необходимо изучение признаков дешифрирования изучаемых объектов на материалах ДЗЗ. Фенологические особенности лиственницы позволяют выделять указанную породу на снимках высокого пространственного разрешения [Богданов и др., 2023]. Комплексное использование многозональной космосъемки различного пространственного разрешения может повысить точность оценки ресурсного потенциала древостоев [Li et al., 2020]. При оценке запаса лесных насаждений на основе классификации материалов ДЗЗ с помощью машинного обучения могут совместно использоваться данные Sentinel-2 и бортового LiDAR [Yu et al., 2023].

Важным элементом выделения лиственницы является правильный подбор периода съемки, а также использование двух изображений из двух разных сезонов, что позволяет достичь точности в 90% [Grabska et al., 2019]. Также важен выбор диапазона электромагнитного спектра, в котором наиболее явно можно идентифицировать лиственницу [Kollert et al., 2021]. Визуальная оценка показала, что на многозональном космоснимке Sentinel-2 древостои с участием и преобладанием лиственницы наиболее контрастны в диапазоне съемки от 650,0 нм до 680,0 нм, поэтому для исследования выбран канал В4 с пространственным разрешением 10 м.

Для изучения особенностей спектрального отображения лиственницы на материалах космосъемки Sentinel-2 использованы определенные фенологические закономерности. На изучаемой территории практически все деревья березы освобождаются от листвы на 14 дней раньше, чем деревья лиственницы от хвои [Берлина, Зануздаева, 2015; Васина, Таланова, 2015]. Опадение хвои у лиственницы длится до середины октября [Наквасина и др., 2008]. Также известно, что лиственница наименее требовательна к температурному режиму воздуха во время опадения хвои [Кищенко, 2020].

Объектом исследования являются древостои с участием и преобладанием лиственницы и их отображение на аэрокосмоснимке.

Древесные породы могут формировать как чистые, так и смешанные древостои. Возможность выделения отдельных деревьев и древостоев на

материалах ДЗЗ определяется детальностью используемой съемки или пространственным разрешением. Для выделения отдельных крон лиственницы использована детальная съемка, полученная с БВС DJI Mini.

*Материалы и методика исследования.* Целью данного исследования является изучение особенностей отображения лиственницы в осенний период на материалах космосъемки, выполненной с космического аппарата Sentinel-2.

Для выполнения поставленной цели проведены следующие работы:

- подготовительные работы (поиск доступной информации и получение данных лесоустройства на территорию объекта исследования; подбор участка, методов проведения полевых работ и обработки данных);
- полевые работы (сбор данных с использованием утвержденных методик; проведение съемки с беспилотного воздушного судна);
- камеральные работы (обработка полевых материалов; загрузка космической съемки; создание ортофотоплана).

Объекты исследования – насаждения с преобладанием и участием лиственницы 76 и 92 квартала Кепинского участкового лесничества Архангельского лесничества. Площадь лесничества составляет 1,1 млн га. В состав лесничества входят 9 участковых лесничеств. В лесничестве преобладают спелые и перестойные насаждения, средний состав древостоя 75Е14С2Лц9Б+Ос<sup>1</sup>.

Для получения таксационной характеристики древостоя выбран метод таксации круговыми площадками постоянного радиуса (КППР). Выполнен сплошной пересчет всех деревьев с замерами высот на 71 КППР радиусом 11,3 м. Полевые материалы обрабатывались принятыми в лесной таксации и вариационной статистике методами<sup>2</sup>. Радиус КППР определялся в зависимости от среднего диаметра и полноты лесного насаждения<sup>3</sup>. Диаметр деревьев измерялся по точной шкале мерной вилкой с точностью 1 мм. Для определения средней высоты древесного яруса измерялась высота у 15–20

---

<sup>1</sup> Лесохозяйственный регламент Архангельского лесничества, утвержденный постановлением МПР и ЛПК Архангельской области от 28 ноября 2018 года № 50п. URL: <https://dvinaland.ru/gov/iogv/minlpk/docList/> (дата обращения: 20.01.2024).

<sup>2</sup> Третьяков С.В., Контев С.В., Наквасина Е.Н., Бахтин А.А., Ильинцев А.С., Богданов А.П., Кекишева Ю.Е. Лесная таксация. Часть 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ: учебное пособие / Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2023. 119 с.

<sup>3</sup> Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек и о внесении изменений в Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации, утвержденные приказом Минприроды России от 1 декабря 2020 г. № 993; приказ Минприроды России от 17 октября 2022 года № 688.

деревьев каждой породы. Высоту измеряли ультразвуковым высотомером Haglof Vertex IV с точностью 0,1 м. Запас на пробной площади определялся по разрядным таблицам<sup>4</sup>. Состав древостоя определен на основе запасов составляющих пород. Для определения координат центров КППР использовался GPS-навигатор Garmin GPSmap 62.

Для визуализации объектов исследования использовалась геоинформационная система QGIS 3.16. На рис. 1 приведена схема расположения КППР 76 квартала.

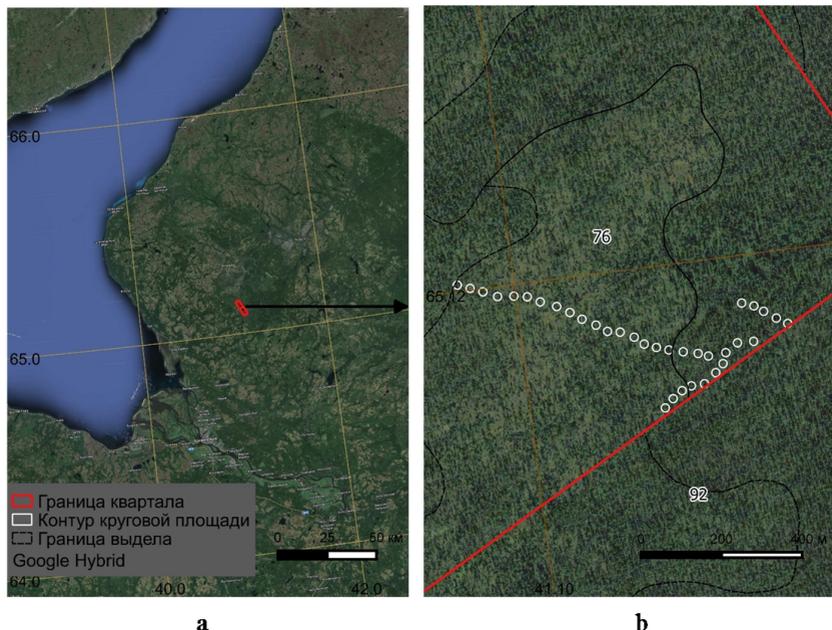


Рис. 1. Расположение КППР: а – расположение объекта исследования на карте Google Hybrid; б – схема расположения КППР внутри 76 квартала Кепинского участкового лесничества

Fig. 1. Location of the circular test areas: а – location of the research object on the Google Hybrid map; б – location of the circular test areas inside the 76 block of the Kepino forest area

<sup>4</sup> Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми) / Федер. агентство лесного хоз-ва, Федер. бюджет. учреждение «Сев. науч.-исслед. ин-т лесного хоз-ва»; сост.: канд. с.-х. наук Войнов Г.С. и др. Архангельск: ОАО ИПП «Правда Севера», 2012. 672 с.

Выполнение цифровой аэрофотосъемки осуществлялось с помощью БВС DJI Mini, оснащённого модулем GPS и цифровой камерой с размером матрицы 12 мегапикселей [Алешко и др., 2023]. Аэрофотосъемка проведена в октябре 2022 г. на площади 43 га. Съемка выполнена на высоте 100 м над уровнем земной поверхности, что позволило сформировать ортофотоплан детальностью до 5 см/пиксель. Фотограмметрическая обработка данных цифровой фотосъемки с БВС выполнена с помощью программного обеспечения Agisoft Metashape.

Для изучения особенностей отображения крон лиственницы на космоснимке Sentinel-2 проведены следующие работы:

1. создание набора векторных слоев в геоинформационной системе (нанесение границ КППР на картографическую подложку; выделение крон лиственницы на ортофотоплане; обрезка крон по контуру КППР);

2. подбор и загрузка материалов космической съемки на территорию исследования с помощью картографического сервиса EO Browser [Sentinel..., 2023];

3. определение атрибутивных характеристик КППР (площади крон лиственниц, доли горизонтальной проекции крон лиственниц по отношению к площади КППР);

4. вычисление статистических характеристик спектральной яркости каждой КППР по материалам космической съемки.

Для определения спектральной яркости на КППР использовался модуль QGIS «Зональная статистика». Результаты расчета приведены в табл. 2.

*Результаты исследования.* Таксационная характеристика двухъярусного насаждения приведена в табл. 1.

*Таблица 1*

**Таксационная характеристика древостоя**

**Taxation characteristics of the forest stand**

Ярус	Порода	Доля в составе, %	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Относительная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
I	Л	100	200	25,1	43,7	11,9	0,29	142
Итого		100				11,9	0,29	142
II	Е	88	78	12	18,8	6,5	0,28	50
II	Б	12	63	9,5	11,1	1,3	0,07	7
Итого		100				7,8	0,35	57

На рис. 2 приведен фрагмент ортофотоплана с нанесенными границами КППР и контурами крон лиственниц, выделенными вручную.



Рис. 2. Фрагмент ортофотоплана, сформированного на основе материалов аэрофотосъемки с БВС DJI Mini, выполненной встроенной камерой в октябре 2022 г.

Fig. 2. A fragment of an orthophotoplan formed on the basis of aerial photography materials from the DJI Mini UAV, made with an integrated camera in October 2022

Для оценки точности выделения лиственницы на ортофотоплане проведено сравнение с результатами полевых работ. Точность выделения крон на материалах ортофотоплана определялась по формуле (1):

$$A = \frac{N}{N_v} = \frac{97 \times 100\%}{107} = 90,7\%, \quad (1)$$

где  $A$  – точность выделения крон лиственниц, %;  $N$  – количество деревьев на круговых площадках, определяемое визуально по ортофотоплану, шт.,  $N = 97$ ;  $N_v$  – количество лиственниц на круговых площадках, определяемое при наземном перече, шт.,  $N_v = 107$ .

Использование съемки с детальностью 5 см на пиксель в осенний период позволяет выделять лиственницу с точностью до 90,7%.

Для выявления особенностей отображения древостоев с участием и преобладанием лиственницы на материалах дистанционного зондирования использован многозональный снимок, выполненный космическим летательным аппаратом Sentinel-2. Для целей исследования использовался один канал (рис. 3).

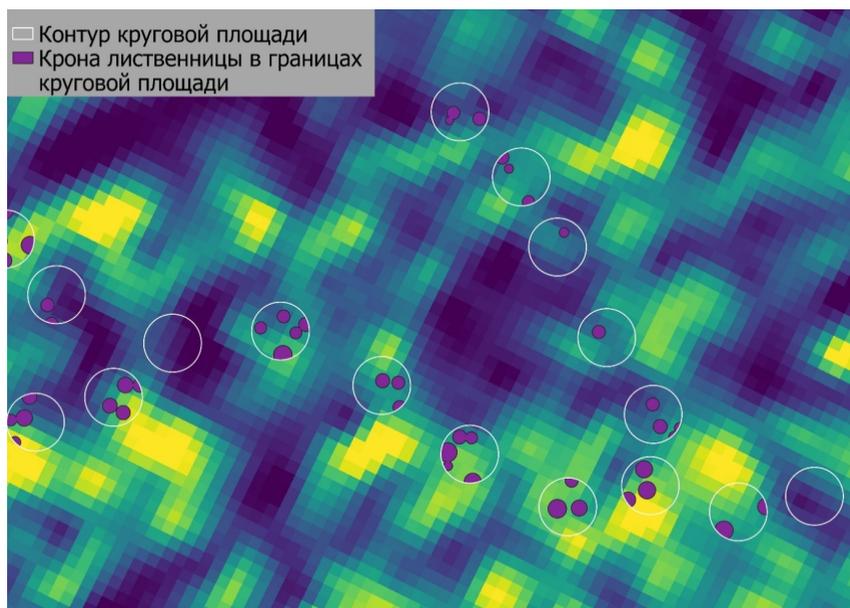


Рис 3. Фрагмент одноканального псевдоцветного изображения космического снимка Sentinel-2 (канал B4)

Fig. 3. Fragment of a single-channel pseudo-color image of the Sentinel-2 satellite image (band B4)

В табл. 2 приведены средние значения спектральной яркости и доля покрытия кроны лиственницы на каждой КППР.

Для лучшей интерпретации данных построен график разброса значений яркости КППР (рис. 4).

Таблица 2

**Данные по зональной статистике КППР на космическом снимке Sentinel-2 в диапазоне (B04)**

**Data on the zonal statistics of the circular plot of constant radius (CPCR) on the Sentinel-2 satellite image in the band (B04)**

Номер КППР	Значение средней яркости КППР	Доля покрытия крон лиственных на КППР, %	Номер КППР	Значение средней яркости КППР	Доля покрытия крон лиственных на КППР, %
1	14,7	6,8	37	14,1	7,5
2	18,4	25,8	38	14,4	0,0
3	15,9	23,0	39	15,4	3,9
4	17,8	22,9	40	15,1	10,8
5	14,3	0,0	41	17,2	20,0
6	14,5	16,8	42	14,7	0,0
7	13,2	0,0	43	17,0	12,9
8	15,4	8,8	44	17,4	26,4
9	18,1	23,6	45	14,2	17,0
10	16,1	10,0	46	16,5	5,0
11	18,4	13,6	47	16,4	4,1
12	14,4	12,0	48	16,4	4,1
13	17,5	21,9	49	13,3	9,6
14	13,4	0,0	50	13,5	0,0
15	15,5	5,3	51	17,1	7,0
16	14,2	15,6	52	15,7	5,2
17	16,7	15,1	53	16,8	27,3
18	17,3	13,3	54	15,9	22,0
19	15,0	4,5	55	14,3	2,7
20	17,0	9,5	56	17,5	15,7
21	16,7	14,0	57	14,2	0,9
22	15,0	13,3	58	16,7	9,4
23	16,0	11,3	59	15,3	0,0
24	13,4	0,0	60	14,6	2,8
25	18,2	15,0	61	15,1	3,5
26	13,4	0,0	62	17,0	22,8
27	18,1	15,0	63	13,7	1,1
28	16,1	9,5	64	18,2	10,1
29	16,4	13,2	65	14,1	0,0
30	13,6	0,0	66	14,8	9,7
31	15,0	12,0	67	16,2	8,1
32	15,9	9,9	68	18,4	19,3
33	13,4	4,2	69	16,1	14,1
34	15,9	18,5	70	14,0	8,9
35	15,2	1,2	71	17,1	15,1
36	16,3	8,0			

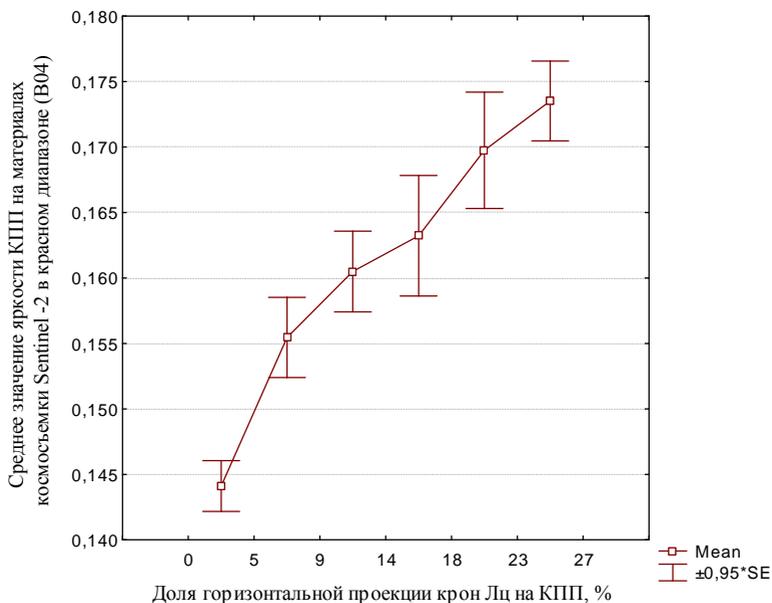


Рис. 4. Значения яркости КППР на материалах Sentinel-2 в зависимости от горизонтальной проекции крон лиственницы на КППР

Fig. 4. Brightness values of circular plots of constant radius (CPCR) on Sentinel-2 materials as a function of horizontal projection of larch crowns on the CPCR

На графике (рис. 4) прослеживается линейная зависимость средних значений яркости КППР от доли горизонтальной проекции крон лиственниц на КППР. Для оценки влияния доли горизонтальной проекции крон лиственницы на значение яркости КППР на материалах Sentinel-2 проведен однофакторный дисперсионный анализ, подтверждающий статистически значимую связь. Полученная величина ошибки  $p = 0,000001$  опровергает нулевую гипотезу об отсутствии связи доли горизонтальной проекции крон лиственниц и спектральной яркости КППР. Поскольку  $p < 0,05$ , можно заключить, что значения яркости КППР на материалах космоснимка статистически значимо различаются в зависимости от доли горизонтальной проекции крон лиственницы на КППР.

Благодаря развитию современных технологий появилась возможность получения детальной съемки с БВС практически в оперативном режиме [Бабашкин и др., 2016]. Наличие аэрофотоснимков позволяет по-новому

подойти к вопросам сбора полевых материалов. Применение сверхдетальной съемки позволило провести картирование крон лиственницы с географической привязкой. Полученная цифровая основа использована для выявления особенностей отображения объекта исследования на космическом снимке.

*Заключение.* Материалы аэрофотосъемки, полученной в осенний период, позволяют выделять кроны лиственницы с высокой точностью. Для картографирования крон лиственниц использована цифровая съемка, выполненная с помощью БВС. Общая точность визуального выделения лиственницы на ортофотоплане по сравнению с полевым обследованием составила 90,7%. Для выявления особенностей отображения лиственницы на материалах космической съемки заложена 71 круговая площадка постоянного радиуса. Для изучения особенностей отображения КППР использована космическая съемка, выполненная космическим летательным аппаратом Sentinel-2. Однофакторный анализ показал достоверную связь спектральной яркости КППР с долей проекции крон лиственниц на КППР.

*Вклад авторов.* Богданов А.П. – 50%, Ильинцев А.С. – 50%.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Алексеев А.С., Черниковский Д.М. Выявление ранних стадий повреждения еловых древостоев короедом-типографом на основе совмещенного анализа материалов спутниковой съемки Sentinel-2b и наземных обследований // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 246. С. 22–43. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.246.22-43.

Алешко Р.А., Шошина К.В., Березовский В.В., Васендина И.С., Воронцов Р.А., Десятова Т.О. Разработка методики определения объёмов лесоматериалов с использованием беспилотного воздушного судна // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 4. С. 111–120. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-4-111-120.

Бабашкин Н.М., Кадничанский С.А., Нехин С.С. Топографическая аэросъемка в России // Геоматика. 2016. № 1 (30). С. 30–36.

Берлина Н.Г., Зануздаева Н.В. Календарь природы Лапландского биосферного заповедника // Матер. Междунар. науч.-практич. конференции. УрГПУ, Екатеринбург, 2015. С. 88–100.

Богданов А.П., Третьяков С.В., Копейкин М.А. Разработка алгоритма дешифрования мультиспектральных спутниковых снимков среднего разрешения с

целью выделения древостоев лиственницы // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2023. № 3(72). С. 61–71. DOI: 10.34655/bgsha.2023.72.3.007.

*Васина А.Л., Таланова Г.И.* Анализ многолетних климатических и фенологических данных заповедника «Малая Сосьва» (Северное Зауралье): матер. Междунар. науч.-практич. конф. УрГПУ, Екатеринбург, 2015. С. 100–111.

*Жарко В.О., Барталев С.А.* Оценка распознаваемости древесных пород леса на основе спутниковых данных о сезонных изменениях их спектрально-отражательных характеристик // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, №. 3. С. 159–170.

*Кищенко И.Т.* Влияние климатических факторов на сезонное развитие хвойных лесообразующих видов в таежной зоне (Карелия) // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 3. С. 72–82. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-72-82.

*Наквасина Е.Н., Барабин А.И., Тихонов П.Р., Елисеев А.А.* Лиственница на Архангельском Севере: биология, изменчивость, сохранение: монография. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. 216 с.

*Шошина К.В., Алешко Р.А., Березовский В.В., Васендина И.С., Шошин А.С., Гурьев А.Т.* Тематическое дешифрирование аэроснимков лесных территорий на основе концептуального моделирования // Онтология проектирования. 2023. Т. 13, № 3(49). С. 437–454. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-437-454.

*Grabska E., Hostert P., Pflugmacher D., Ostapowicz K.* Forest Stand Species Mapping Using the Sentinel-2 Time Series // Remote Sens. 2019. Vol. 11, no. 10. Art. no. 1197. DOI: 10.3390/rs11101197.

*Kollert A., Bremer M., Löw M., Rutzinger M.* Exploring the Potential of Land Surface Phenology and Seasonal Cloud Free Composites of One Year of Sentinel-2 Imagery for Tree Species Mapping in a Mountainous Region // Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 2021. Vol. 94. Art. no. 102208. DOI: 10.1016/J.JAG.2020.102208.

*Li X., Liu Z., Lin H., Wang G., Sun H., Long J., Zhang M.* Estimating the Growing Stem Volume of Chinese Pine and Larch Plantations based on Fused Optical Data Using an Improved Variable Screening Method and Stacking Algorithm // Remote Sens. 2020. Vol. 12. Art. no. 871. DOI: 10.3390/rs12050871.

*Monteiro A.T., Rosa S., Andreone F., Ndriantsoa S., Rakotonanahary T., Dawson J., Rabemananjara F.C.E., Rabibisoa N.H.C., Lucas R., Crottini A.* Anthropogenic landscape change and amphibian diversity in tropical montane biodiversity hotspots: insights from satellite remote sensing in the Madagascar highlands // Environ. Dev. Sustain. 2023. Vol. 27. P. 7219–7242. DOI: 10.1007/s10668-023-04187-9.

*Punalekar S.M., Planque C., Lucas R.M., Evans D., Correia V., Owers C.J., Poslajko P., Bunting P., Chognard S.* National scale mapping of larch plantations for Wales using the Sentinel-2 data archive // Forest Ecology and Management. 2021. Vol. 501. Art. no. 119679. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119679.

Rees W.G., Tomaney J., Tutubalina O., Zharko V., Bartalev S. Estimation of Boreal Forest Growing Stock Volume in Russia from Sentinel-2 MSI and Land Cover Classification // *Remote Sens.* 2021. Vol. 13. Art. no. 4483. DOI: 10.3390/rs13214483.

Sentinel Hub. EO Browser. URL: <https://www.sentinel-hub.com> (дата обращения: 16.10.2023).

Shen Y., Zhang X., Wang W., Nemani R., Ye Y., Wang J. Fusing Geostationary Satellite Observations with Harmonized Landsat-8 and Sentinel-2 Time Series for Monitoring Field-Scale Land Surface Phenology // *Remote Sens.* 2021. Vol. 13. Art. no. 4465. DOI: 10.3390/rs13214465.

Yu T., Pang Y., Liang X.J., Jia W., Bai Y., Fan Y.L., Chen D.S., Liu X.Z., Deng G., Li C.G., Sun X.N., Zhang Z.D., Jia W.W., Zhao Z.H., Wang X. China's larch stock volume estimation using Sentinel-2 and LiDAR data // *Geo-Spatial Inf. Sci.* 2023. Vol. 26, iss. 3. P. 392–405. DOI: 10.1080/10095020.2022.2105754.

## References

Alekseev A.S., Chernikhovskii D.M. Identification of early stages of damage to spruce stands by bark beetle-typographer based on combined analysis of Sentinel-2B satellite survey materials and ground surveys. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2023, no. 246, pp. 22–43. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.246.22-43. (In Russ.)

Aleshko R.A., Shoshina K.V., Berezovsky V.V., Vasendina I.S., Vorontsov R.A., Desyatova T.O. Development of a methodology to determine the volume of timber using an unmanned aerial vehicle. *Current problems in remote sensing of the earth from space*, 2023, vol. 20, no. 4, pp. 111–120. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-4-111-120. (In Russ.)

Babashkin N.M., Kadnichansky S.A., Nekhin S.S. Topographic aerial photography in Russia. *Geomatics*, 2016, no. 1 (30), pp. 30–36. (In Russ.)

Berlina N.G., Zanuzdayeva N.V. Nature calendar of the Lapland Biosphere Reserve. *Materials of the International Scientific and Practical Conference*, USPU, Yekaterinburg, 2015, pp. 88–100. (In Russ.)

Bogdanov A.P., Tretyakov S.V., Kopeikin M.A. Development of an algorithm for decrypting multispectral satellite images of medium resolution in order to isolate stands of larch. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*, 2023, no. 3(72), pp. 61–71. DOI: 10.34655/bgsha.2023.72.3.007. (In Russ.)

Grabska E., Hostert P., Pflugmacher D., Ostapowicz K. Forest Stand Species Mapping Using the Sentinel-2 Time Series. *Remote Sens.*, 2019, vol. 11, no. 10, art. no. 1197. DOI: 10.3390/rs11101197.

Kishchenko I.T. The Effect of Climatic Factors on the Seasonal Development of Coniferous Forest-Forming Species in the Taiga Zone (Karelia). *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2020, no. 3, pp. 72–82. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-72-82 (In Russ.)

Kollert A., Bremer M., Löw M., Rutzinger M. Exploring the Potential of Land Surface Phenology and Seasonal Cloud Free Composites of One Year of Sentinel-2 Imagery for Tree Species Mapping in a Mountainous Region. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 2021, vol. 94, art. no. 102208. DOI: 10.1016/J.JAG.2020.102208.

Li X., Liu Z., Lin H., Wang G., Sun H., Long J., Zhang M. Estimating the Growing Stem Volume of Chinese Pine and Larch Plantations based on Fused Optical Data Using an Improved Variable Screening Method and Stacking Algorithm. *Remote Sens.*, 2020, vol. 12, art. no. 871. DOI: 10.3390/rs12050871.

Monteiro A.T., Rosa S., Andreone F., Ndriantsoa S., Rakotonanahary T., Dawson J., Rabemananjara F.C.E., Rabibisoa N.H.C., Lucas R., Crottini A. Anthropogenic landscape change and amphibian diversity in tropical montane biodiversity hotspots: insights from satellite remote sensing in the Madagascar highlands. *Environ. Dev. Sustain.*, 2023, vol. 27, pp. 7219–7242. DOI: 10.1007/s10668-023-04187-9.

Nakvasina E.N., Barabin A.I., Tikhonov P.R., Eliseev A.A. Larch in the Arkhangelsk North: biology, variability, conservation. Arkhangelsk: Arkh. STU, 2008. 216 p. (In Russ.)

Punalekar S.M., Planque C., Lucas R.M., Evans D., Correia V., Owers C.J., Poslajko P., Bunting P., Chognard S. National scale mapping of larch plantations for Wales using the Sentinel-2 data archive. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 501, art. no. 119679. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119679.

Rees W.G., Tomaney J., Tutubalina O., Zharko V., Bartalev S. Estimation of Boreal Forest Growing Stock Volume in Russia from Sentinel-2 MSI and Land Cover Classification. *Remote Sens.*, 2021, vol. 13, art. no. 4483. DOI: 10.3390/rs13214483.

Sentinel Hub. EO Browser. URL: <https://www.sentinel-hub.com>. (accessed October 16, 2023).

Shen Y., Zhang X., Wang W., Nemani R., Ye Y., Wang J. Fusing Geostationary Satellite Observations with Harmonized Landsat-8 and Sentinel-2 Time Series for Monitoring Field-Scale Land Surface Phenology. *Remote Sens.*, 2021, vol. 13, art. no. 4465. DOI: 10.3390/rs13214465.

Shoshina K.V., Aleshko R.A., Berezovsky V.V., Vasendina I.S., Shoshin A.S., Guryev A.T. Thematic interpretation of aerial photographs of forest areas based on conceptual modeling. *Ontology of designing*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 437–454. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-437-454. (In Russ.)

Vasina A.L., Talanova G.I. Analysis of long-term climatic and phenological data of the reserve «Malaya Sosva» (Northern Trans-Urals). *Materials of the International scientific and practical conference*, USPU, Yekaterinburg, 2015, pp. 100–111 (In Russ.)

Yu T., Pang Y., Liang X.J., Jia W., Bai Y., Fan Y.L., Chen D.S., Liu X.Z., Deng G., Li C.G., Sun X.N., Zhang Z.D., Jia W.W., Zhao Z.H., Wang X. China's larch stock volume estimation using Sentinel-2 and LiDAR data. *Geo-Spatial Inf. Sci.*, 2023, vol. 26, iss. 3, pp. 392–405. DOI: 10.1080/10095020.2022.2105754.

Zharko V.O., Bartalev S.A. Assessment of tree species recognition based on satellite data on seasonal changes in their spectral reflectance characteristics. *Current problems in remote sensing of the earth from space*, 2014, vol. 11, no. 3, pp. 159–170 (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 05.04.2024

---

**Богданов А.П., Ильинцев А.С.** Особенности спектрального отображения лиственницы в осенний период на материалах съемки Sentinel-2 // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2025. Вып. 253. С. 6–21. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.6-21

Исследование посвящено выявлению особенностей спектрального отображения древостоев с участием и преобладанием лиственницы в осенний период на материалах съемки Sentinel-2. Для изучения отображения древостоев с участием и преобладанием лиственницы использован диапазон съемки от 650,0 нм до 680,0 нм, соответствующий каналу В4 Sentinel-2. В качестве критерия выбора даты съемки использованы фенологические особенности лиственницы и сопутствующих лиственных пород на исследуемой территории. Для проведения полевых работ подобрана территория с участием и преобладанием лиственницы в 76 и 92 кварталах Кепинского участкового лесничества Архангельского лесничества. Для оценки древостоя выбран метод таксации круговыми площадками постоянного радиуса (КППР). Географическая привязка центров КППР осуществлялась с помощью GPS-навигатора Garmin 62. Для целей исследования заложена 71 КППР. Для картографирования крон лиственниц на КППР использовалась съемка в октябре 2022 г. с беспилотного воздушного судна. Для оценки точности аналитического выделения лиственницы по материалам детальной съемки использованы материалы полевого обследования. Фенологические особенности лиственницы позволяют выделить указанную породу на материалах детальной съемки с точностью свыше 90%. Выявлена линейная связь увеличения спектральной яркости КППР на космическом снимке Sentinel-2 с увеличением доли лиственницы. Проведенный комплекс работ, включающий полевые работы, определение на детальной съемке отдельных крон лиственницы и анализ их отображения на космоснимке, может применяться при решении задач по определению ареала распространения лиственницы в Архангельской области и на Европейском Севере. Результаты исследования будут способствовать развитию методов автоматизированного дешифрирования.

Ключевые слова: дешифрирование, лиственница, фенология, аэрокосмосъемка, Sentinel-2, беспилотный летательный аппарат.

**Bogdanov A.P., Pyintsev A.S.** Features of the spectral display of larch in the autumn period on the materials of the Sentinel-2 survey. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 6–21 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.6-21

The study is devoted to revealing the peculiarities of spectral mapping of stands with participation and predominance of larch in the autumn period on the materials of Sentinel-2 imagery. The imaging range from 650.0 nm to 680.0 nm, corresponding to Sentinel-2 channel B4, was used to study the mapping of stands with larch participation and predominance. Phenological peculiarities of larch and associated hardwoods in the study area were used as a criterion for selecting the survey date. For field work, an area with larch participation and predominance was selected in the territory of 76 and 92 quarters of the Kepinsky district forestry of Arkhangelskoye lesnichestvo. For stand assessment, the method of constant radius circular plots (CRCP) was chosen. Geographical reference of the circular plots centers was carried out using a Garmin 62 GPS navigator. For the purposes of the study, 71 CRCPs were established. In October 2022 an unmanned aircraft survey was used to map larch crowns in the circular plots. Field survey materials were used to assess the accuracy of analytical larch identification based on detailed survey data. Phenological peculiarities of larch make it possible to identify this species on the detailed imagery materials with an accuracy of over 90%. A linear relationship between the increase in the spectral brightness of CRCP on the Sentinel-2 satellite image and the increase in the larch share was revealed. The complex of works carried out, including field work, the determination of individual larch crowns on a detailed survey and the analysis of their display on a satellite image, can be used to solve problems of determining the distribution area of larch in the Arkhangelsk region and the European North. The results of the study will contribute to the development of automated decryption methods.

**Key words:** interpretation, larch, phenology, aerial photography, Sentinel-2, unmanned aerial vehicle.

---

**БОГДАНОВ Александр Петрович** – старший научный сотрудник Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства; доцент кафедры лесоводства и лесоустройства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат сельскохозяйственных наук. Researcher ID: N-6286-2019. ORCID: 0000-0002-1655-7212. SPIN-код: 6726-0429. 163062, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия. E-mail: a.p.bogdanov@sevniilh-arh.ru

**BOGDANOV Alexandr P.** – PhD (Agriculture), Senior Researcher, Northern Research Institute of Forestry; Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Researcher ID: N-6286-2019. ORCID: 0000-0002-1655-7212. SPIN-code: 6726-0429.

163062. Nikitova str. 13. Arkhangelsk. Russia. E-mail: a.p.bogdanov@sevniilh-arh.ru

**ИЛЬИНЦЕВ Алексей Сергеевич** – старший научный сотрудник Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства; доцент кафедры лесоводства и лесоустройства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат сельскохозяйственных наук. Researcher ID: N-6286-2019. ORCID: 0000-0003-3524-4665. SPIN-код: 1299-7037. 163062, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия. E-mail: a.ilintsev@narfu.ru

**ILYINTSEV Aleksey S.** – PhD (Agriculture), Senior Researcher, Northern Research Institute of Forestry; Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. Researcher ID: N-6286-2019. ORCID: 0000-0003-3524-4665. SPIN-code: 1299-7037. 163062. Nikitova str. 13. Arkhangelsk. Russia. E-mail: a.ilintsev@narfu.ru

**А.М. Ерицов, И.В. Безденежных, С.В. Залесов**

## **НЕОБХОДИМОСТЬ КООРДИНАЦИИ УСИЛИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ**

*Введение.* Во всем мире в последние годы наблюдаются продолжительные периоды с отсутствием осадков, высокими температурами воздуха, сильными ветрами, высокой грозовой активностью, которые способствуют быстрому распространению пожаров [Лескинен и др., 2020; Yefremov, Shvidenko, 2004; Bartalev et al., 2015; Bowman et al., 2017]. Особенно опасны лесные пожары, когда они возникают на лесных участках с высокими классами природной пожарной опасности. Ликвидация пожаров также существенно усложняется в случае их возникновения на удаленных и труднодоступных территориях или когда низовые пожары развиваются в верховые или торфяные [Валендик, 1990; Марченко, Залесов, 2013; Воздействие ..., 2022; Секерин и др., 2023а]. В течение продолжительного времени население таежных поселков и даже больших городов бывает вынуждено дышать воздухом, загрязненным продуктами неполного сгорания лесных горючих материалов [Кузнецов и др., 2023а; Куксин и др., 2023]. По данным Форума ООН по лесам Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН, во всем мире от загрязнения воздуха, вызванного лесными пожарами, происходит примерно 340 тыс. случаев преждевременной смерти от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний; при этом негативные экономические последствия лесных пожаров усиливаются [Kondenoukro, 2023].

Значительный ущерб, причиняемый лесными пожарами как экономике страны, так и здоровью населения, вызывает необходимость принятия мер по снижению фактической горимости лесов и минимизации послепожарных последствий.

*Цель исследования* – на основе анализа горимости лесов разработать предложения по совершенствованию их охраны от пожаров.

*Методика исследования.* В основу исследований положен анализ горимости лесов как в нашей стране, так и за ее пределами, литературные и ведомственные материалы по охране лесов от пожаров, а также личный

опыт авторов по обнаружению, ликвидации и минимизации негативных последствий лесных пожаров.

*Результаты исследований.* В целом на нашей планете с 2001 по 2018 гг. более двух третей лесных пожаров произошло в Африке. Самые крупные пройденные огнем площади, превышающие 500 млн га, зафиксированы в Африке, Австралии и Южной Америке. Усиливающиеся последствия изменения климата при низком уровне землепользования делают лесные пожары более частыми и интенсивными. По оценке ООН, мы можем стать свидетелями глобального увеличения экстремальных пожаров. Доля последних к 2030 г. увеличится до 14%, к 2050 г. – до 30% и к концу столетия – до 50% [Kondenoukpo, 2023].

Средняя площадь ландшафтных пожаров ежегодно составляет 370 млн га природных территорий. В результате в процессе указанных пожаров в атмосферу выделяется 1,8 млн т парниковых газов. На лесные пожары приходится 5% от общей пройденной огнем ландшафтных пожаров площади. При этом на их долю приходится более 80% выбросов парниковых газов [Kondenoukpo, 2023]. Особенно значительны выбросы парниковых газов при торфяных лесных пожарах [Душа-Гудым, 2002; Залесов, 2021].

В период с 2000 по 2016 гг. площадь лесных пожаров в России в среднем составляла 2–3 млн га, однако, начиная с 2017 года, наблюдается значительное увеличение площадей пожаров до 10 млн га в отдельные годы (рис. 1). На общий рост площади пожаров наибольшее влияние оказывают именно природно-климатические факторы (повышенные температуры, продолжительные засушливые периоды, увеличивающиеся пожароопасные сезоны, ветровые нагрузки, участвовавшие сухие грозы), а также антропогенные причины возникновения пожаров. При этом в целом, начиная с 2000 года, количество пожаров в России снижается благодаря принимаемым мерам по совершенствованию профилактических противопожарных мероприятий и противопожарной пропаганде. Однако площади пожаров увеличиваются, в том числе из-за перехода огня в лес с сопредельных природных территорий (рис. 1). В весенний период около 1/3 всех пожаров в лесном фонде возникает по причине переходов огня с земель иных категорий, где проводятся несанкционированные палы сухой травянистой растительности [Авиалесоохрана..., 2024].

Наибольшая площадь, пройденная пожарами, наблюдается в регионах Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов; это в основном труднодоступные леса [Авиалесоохрана..., 2024].



Рис. 1. Динамика горимости лесов за период 2000–2023 гг.

Fig. 1. Dynamics of forest burning over the period 2000–2023

Во многих регионах страны в 2023 году зафиксированы абсолютные максимумы температуры воздуха за всю историю метеонаблюдений [Ерицов и др., 2023; Кузнецов и др., 2023б]. На большей части Урала и Сибири фиксировались рекордные температуры и практически полное отсутствие осадков в течение 2–3 месяцев, а атмосферные фронты, несущие кратковременные дожди, сопровождалось шквалистым ветром 25–27 м/с. Многократно увеличилось, по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, количество дней с IV и V классами пожарной опасности.

Для тушения пожаров на удаленных и труднодоступных территориях необходимо было максимально сократить существующие в регионах зоны контроля, где допускалось принятие решений региональными органами власти по прекращению мероприятий по тушению лесных пожаров, в случае если они не угрожали объектам экономики, а прогнозируемые затраты на тушение пожаров превышали прогнозируемый ущерб. Таким образом, регионы увеличили площади активно охраняемых территорий, где необходимо проводить мониторинг и тушение лесных пожаров. Зона активно охраняемой территории в 2023 году на землях лесного фонда увеличена на 200 млн га и составила 732 млн га.

Если весной наибольшее влияние на количество лесных пожаров оказывают переходы на лесной фонд ландшафтных пожаров, то летом – грозы [Иванова и др., 2023]. Площадной показатель по лесным пожарам, возникшим от гроз в 2023 году, в 1,3 раза превысил аналогичный показатель 2022 года. Площадь, пройденная лесными пожарами, возникшими от гроз в 2023 году, составила 74,3% от общей пройденной огнем площади (рис. 2).

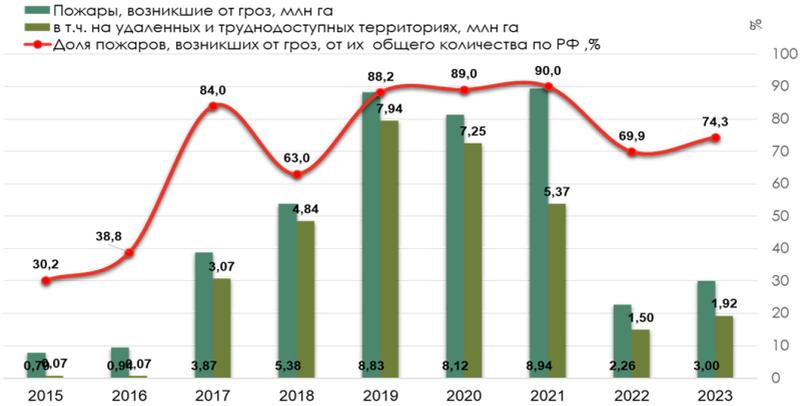


Рис. 2. Показатели площади, пройденной огнем пожарами, возникшими от гроз

Fig. 2. Indicators of the area covered by fire by fires caused by thunderstorms

Увеличение показателей горимости лесов требует совершенствования системы охраны лесов от пожаров. Силы и средства лесопожарных служб каждого субъекта Российской Федерации нацелены на успешную борьбу с огнем в условиях низкой и средней горимости лесов. При высокой и чрезвычайной горимости лесов на основании сводных планов тушения лесных пожаров предусмотрено привлечение дополнительных ресурсов лесопользователей, подразделений аварийно-спасательных формирований и других организаций. Межрегиональные лесопожарные формирования, оснащенные современными средствами пожаротушения и связи, способны оперативно маневрировать в другие регионы для оказания помощи в тушении лесных пожаров. Взаимодействие наземных и авиационных служб, межрегиональных лесопожарных формирований и прочих ресурсов, привлекаемых для борьбы с огнем в условиях высокой и чрезвычайной горимости, координируется региональными диспетчерскими пунктами. Однако процедуры маневрирования силами и средствами субъектов Российской Федерации все еще требуют совершенствования в связи с необходимостью заключения государственных контрактов на оказание услуг по тушению пожаров, что занимает продолжительное время.

Всего в рамках межрегионального маневрирования в 2023 году в России было совершено 173 переброски численностью 4 952 человека [Авиалесоохрана..., 2024].

Также на удаленных и труднодоступных территориях проводятся работы по искусственному вызыванию осадков. Такие работы проводились на территории лесного фонда 5 субъектов (Республика Саха (Якутия), Тыва, Красноярский край, Томская и Магаданская области). Для оперативной прокладки опорных минерализованных полос работники ФБУ «Авиалесоохрана», обеспечивающие тушение лесных пожаров, применяют технологию взрывных работ. Такие работы в 2023 году проведены при тушении лесных пожаров в Республике Саха (Якутия) и Красноярском крае [Авиалесоохрана ..., 2024].

В целях минимизации пожарной опасности в весенний период и негативного воздействия продуктов горения торфяных пожаров преподавателями Уральского государственного лесотехнического университета и сотрудниками Свердловской авиационной базы охраны лесов разработан и успешно реализуется оригинальный способ тушения торфяных пожаров в зимних условиях [Секерин и др., 2022а, б, 2023б]. Способ позволяет эффективно ликвидировать торфяные пожары при минимальных трудовых и финансовых затратах.

Для проведения противопожарной пропаганды, противопожарных мероприятий и тушения лесных пожаров в субъектах Российской Федерации развиваются программы привлечения волонтеров, создаются добровольные пожарные дружины [Деревянко, 2024].

В новой Стратегии развития лесного комплекса, которая утверждена Правительством Российской Федерации в 2021 году, отмечается, что на эффективность государственного управления лесами и лесным хозяйством существенное влияние оказывают риски, связанные с повреждением лесов и потерями лесных ресурсов от пожаров. Указывается необходимость повышения эффективности системы охраны лесов от пожаров, а также координации лесопожарных сил.

Международное сотрудничество имеет жизненно важное значение для согласованных глобальных действий по снижению ущерба от лесных пожаров. Лесные пожары представляют серьезную угрозу устойчивому развитию из-за их воздействия на здоровье человека, климат, загрязнение окружающей среды и экономику. Делегаты Форума ООН по лесам неоднократно подчеркивали, что неконтролируемые лесные пожары представляют собой растущую угрозу здоровью населения и требуют совершенствования охраны лесов. Международные и региональные инициативы сотрудничества включают разработку глобальной сети охраны лесов от пожаров и ее региональных сетей, а также создание нового

центра управления пожарами. Данный центр открыт в мае 2023 г. Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН. В рамках международных программ предусмотрено развитие технологического сотрудничества и обмен научными данными, развитие образовательных программ и совместных исследований в области охраны лесов от пожаров [Kondenoukpo, 2023].

Национальные и международные стратегии могут помочь уменьшить негативное влияние лесных пожаров на экосистему и общество, сделав окружающую среду более устойчивой к возникновению и распространению пожаров.

#### *Выводы.*

1. В последние годы наблюдается увеличение показателей фактической горимости лесов как в нашей стране, так и за ее пределами, что связано прежде всего с изменениями климата;

2. Основной причиной лесных пожаров в весенний период служат ландшафтные пожары, возникающие на бывших сельскохозяйственных угодьях, а в летний – молнии;

3. Пройденная огнем лесных пожаров площадь возрастает прежде всего из-за возникновения их в удаленных труднодоступных районах;

4. Для повышения эффективности служб пожаротушения необходимо совершенствование нормативно-правовых документов по охране лесов от пожаров;

5. Принятие комплексных мер по снижению ущерба от лесных пожаров имеет решающее значение для сохранения лесных экосистем, увеличения биологического разнообразия и обеспечения безопасности объектов экономики и сохранения здоровья населения;

6. Взаимодействие между правительством, обществом и учеными необходимо для эффективного противодействия глобальному увеличению горимости лесов.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Библиографический список**

ФБУ «Авиалесоохрана»: официальный сайт. URL: [www.aviales.ru](http://www.aviales.ru) (дата обращения: 01.03.2024).

Валендик Э.Н. Борьба с крупными лесными пожарами. Новосибирск: Наука, 1990. 193 с.

Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья / отв. ред. А.С. Шишкин. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.

*Деревянко В.М.* Развитие добровольной пожарной охраны в России. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-dobrovolnoy-pozharnoy-ohrany-v-rossii-1/viewer> (дата обращения: 01.03.2024).

*Душа-Гудым С.И.* Радиоактивные лесные пожары: особенности, профилактика, обнаружение и тушение // Предупреждение, ликвидация и последствия пожаров на радиоактивно загрязненных землях: сб. науч. трудов. Вып. 54. Гомель, 2002. С. 92–100.

*Ерицов А.М., Секерин И.М., Кректунов А.А., Залесов С.В.* Особенности пожароопасного сезона 2022 года в Курганской области // Лесной вестник. 2023. Т. 27, № 4. С. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80.

*Залесов С.В.* Роль болот в депонировании углерода // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7 (109), ч. 2. С. 6–9. DOI: 10.23670/IRJ.2021.109.7.033.

*Иванова Г.А., Иванов В.А., Мусохранова А.В., Онучин А.А.* Лесные пожары и причины их возникновения на территории Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 6–16.

*Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М.* Оценка влияния лесных пожаров на качество воздуха в границах города Тюмени // Международный научно-исследовательский журнал. 2023а. № 8 (134). С. 1–6. DOI: 10.23670/IRJ.2023.134.78

*Кузнецов Л.Е., Залесов С.В., Кректунов А.А., Секерин И.М., Куксин Г.В.* Анализ горимости лесов на территории Уральского Федерального округа // Международный научно-исследовательский журнал. 2023б. № 11 (137). С. 1–8. DOI: 10.23670/IRJ.2023.137.43.

*Куксин Г.В., Залесов С.В., Кректунов А.А., Кузнецов Л.Е., Секерин И.М., Щеплягин П.В.* Необходимость оперативной ликвидации торфяных пожаров // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. трудов. Вып. 64. Брянск, 2023. С. 70–72.

*Лескинен П., Линдер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М., Леринк Ю.* Леса России и изменение климата // Что нам может сказать наука 11. 2020. 140 с. DOI: 10.36333/wsetu.11.

*Марченко В.П., Залесов С.В.* Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР «Ертыс орманы» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 10 (108). С. 55–59.

*Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В.* Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале // Международный научно-исследовательский журнал. 2022а. № 5 (119), ч. 2. С. 81–85. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119.

Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022б. Т. 26, № 5. С. 64–70.

Секерин И.М., Залесов С.В., Кректунов А.А. Опыт тушения торфяных пожаров подтоплением // Сибирский лесной журнал. 2023а. № 6. С. 119–127. DOI: 10.15372/SJFS 20230612.

Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В. Эффективный способ тушения торфяных пожаров в зимний период // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023б. Вып. 245. С. 23–35.

Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Jupyan E.A. Satellite based assessment of post fire mortality of Russian forests // Lesovedenie. 2015. No. 2. P. 83–94.

Bowman D.M.J.S., Williamson G.J., Abatzoglou J.T., Kolden C.A., Cochrane M.A., Smith A.M. Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events // Nat. Ecol. Evol. 2017. Vol. 1 (3). Art. no. 58. DOI: 10.1038/s41559-016-0058.

Koudenoukpo J.B. As Wildfires Increase, Integrated strategies for Forests, Climate and Sustainability Are Ever More Urgent // UN Chronicle. 2023. URL: <https://www.un.org/en/un-chronicle/wildfires-in-crease-integrated-strategies-forests-climate-and-sustainability-are-ever> (дата обращения: 01.03.2024)

Yefremov D., Shvidenko A. Long-term impacts of catastrophic forest fires in Russia Far East and their contribution to global processes // International Fire News (IFFN). 2004. No. 32. 7 p.

## References

FBI “Aviation Security of Forests”: official website. URL: [www.aviales.ru](http://www.aviales.ru) (accessed March 01, 2024) (In Russ.)

Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Jupyan E.A. Satellite based assessment of post fire mortality of Russian forests. *Lesovedenie*, 2015, no. 2, pp. 83–94.

Bowman D.M.J.S., Williamson G.J., Abatzoglou J.T., Kolden C.A., Cochrane M.A., Smith A.M. Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nat. Ecol. Evol.*, 2017, vol. 1 (3), art. no. 58. DOI: 10.1038/s41559-016-0058.

Derevyanko V.M. Development of voluntary fire protection in Russia. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-dobrovolnoy-pozharnoy-oh-nany-v-rossii-1/viewer> (accessed March 01, 2024). (In Russ.)

Dusha-Gudym S.I. Radioactive forest fires: features, prevention, detection and extinguishing. *Prevention, elimination and consequences of fires on radioactively contaminated lands: Collection of scientific papers*. Issue 54. Gomel, 2002, pp. 92–100. (In Russ.)

The impact of fires on the light coniferous forests of the Lower Angara region / ed. A.S. Shishikin. Novosibirsk: Nauka, 2022. 204 p. (In Russ.)

Ivanova G.A., Ivanov V.A., Musohranova A.V., Onuchin A.A. Forest fires and the cause of fires in Central Siberia. *Siberian Forestry Journal*, 2023, no. 6, pp. 6–16. (In Russ.)

Koudenoukpo J.B. As Wildfires Increase, Integrated strategies for Forests, Climate and Sustainability Are Ever More Urgent. *UN Chronicle*, 2023. URL: <https://www.un.org/en/un-chronicle/wildfires-in-crease-integrated-strategies-forests-climate-and-sustainability-are-ever> (accessed March 01, 2024).

Kuksin G.V., Zalesov S.V., Krektunov A.A., Kuznetsov L.E., Sekerin I.M., Shcheplyagin P.V. The need for operational liquidation of forest fires. *Actual problems of the forest complex: collection of scientific works*. Issue 64. Bryansk, 2023, pp. 70–72. (In Russ.)

Kuznetsov L.E., Zalesov S.V., Krektunov A.A., Sekerin I.M. Assessment of the impact of forest fires on air quality within the boundaries of the city of Tyumen. *International Scientific Research Journal*, 2023a, no. 8 (134), pp. 1–6. DOI: 10.23670/IRJ.2023.134.78. (In Russ.)

Kuznetsov L.E., Zalesov S.V., Krektunov A.A., Sekerin I.M., Kuksin G.V. Analysis of forest burning on the territory of the Ural Federal District. *International Scientific Research Journal*, 2023b, no. 11 (137), pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.43>. (In Russ.)

Leskinen P., Linder M., Verkerk P.J., Nabours G.J., Van Brousselen J., Kulikova E., Hasegawa M., Lerink Y. Forests of Russia and climate change. *What science can tell us 11*, 2020. 140 p. DOI: 10.36333/wsetu 11. (In Russ.)

Marchenko V.P., Zalesov S.V. The burnability of ribbon forests in the Irtysh region and ways to minimize it by the example of the State Enterprise GLPR «Yertys Ormany». *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2013, no. 10 (108), pp. 55–59. (In Russ.)

Sekerin I.M., Yeritsov A.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V. The experience of extinguishing peat fires in the Middle Urals. *International Scientific Research Journal*, 2022a, no. 5 (119), part 2, pp. 81–85. DOI: 10.23670/IRJ.2022.119. (In Russ.)

Sekerin I.M., Godovalov G.A., Yeritsov A.M., Zalesov S.V. Specifics of the spread and extinguishing of peat fires in winter. *Forestry Bulletin*, 2022b, T. 26, no. 5, pp. 64–70. (In Russ.)

Sekerin I.M., Zalesov S.V., Krektunov A.A. The experience of extinguishing forest fires by flooding. *Siberian Forest Journal*, 2023a, no. 6, pp. 119–127. DOI: 10.15372/SJFS 20230612. (In Russ.)

Sekerin I.M., Yeritsov A.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V. Effective method of extinguishing peat fires in winter. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2023b, iss. 245, pp. 23–35. (In Russ.)

Valendik E.N. Fighting large forest fires. Novosibirsk: Nauka, 1990. 193 p. (In Russ.)

Yefremov D., Shvidenko A. Long-term impacts of catastrophic forest fires in Russias Far East and their contribution to global processes. *International Fire News (IFFN)*, 2004, no. 32, 7 p.

Yeritsov A.M., Sekerin I.M., Krektunov A.A., Zalesov S.V. The specifics of the 2022 fire season in the Kurgan region. *Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 73–80. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80. (In Russ.)

Zalesov S.V. The role of swamps in carbon deposition. *International Scientific Research Journal*, 2021, no. 7 (109), part 2, pp. 6–9. DOI: 10.23670/IRJ.2021.109.7.033. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 08.04.2024

---

**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

Наблюдающиеся в последние годы изменения климата в сочетании с усиливающимися антропогенными нагрузками на лесные экосистемы вызывают необходимость повышенного внимания к охране лесов от пожаров. Лесные пожары во всем мире и в Российской Федерации приводят к деградации лесов, сокращению биологического разнообразия, загрязнению атмосферного воздуха и почвы. Нередко они уничтожают объекты экономики и создают реальную угрозу здоровью и жизни населения. Анализ фактической горимости лесов свидетельствует, что в последние годы увеличилась доля лесных пожаров, причиной которых стали ландшафтные пожары на бывших сельскохозяйственных угодьях и грозы. Последнее объясняет увеличение пройденной огнём лесных пожаров площади в труднодоступных удаленных районах. Крупные лесные пожары, особенно развивающиеся в зонах контроля, приводят к задымлению огромных территорий, и нередко жители мегаполисов испытывают их негативное воздействие в течение длительного времени. Проблема лесных пожаров давно стала международной. За период с 2001 по 2018 гг. крупные лесные пожары прошли в Африке, Австралии, Южной Америке. Указанное свидетельствует о необходимости объединения усилий ученых всех стран мира для минимизации показателей фактической горимости лесов и приносимого лесными пожарами ущерба. В свете изменения климата и других факторов, влияющих на возникновение и распространение пожаров, важно разработать и реализовать стратегии по снижению ущерба от лесных пожаров.

Ключевые слова: изменения климата, лесные пожары, данные горимости лесов, грозовая активность, межрегиональное взаимодействие, профилактические мероприятия.

**Eritsov A.M., Bezdenezhnykh I.V., Zalesov S.V.** The need to coordinate efforts to improve forest protection from fires. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 22–33 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.22-33

Climate change observed in recent years combined with increasing anthropogenic pressures on forest ecosystems made it necessary to increase attention to protect forest from fires. Forest fires all over the world and in the Russian Federation lead to forest degradation, reduction of biological diversity and pollution of atmospheric air and soil. They often destroy economic facilities and create a real threat to the health and life of the population. The analysis of the actual fire rate of forest shows that in recent years the proportion of forest fires caused by landscape fires on former agricultural land and thunderstorms has increased. The latter explains the increase in the area covered by forest fires in hard to reach remote areas. Large forest fires, especially that one developing in control zones, lead to be being smoked in vast areas and often residents of megacities experience their negative impact for a long time. The problem of forest fires has long been international. During the period from 2001 to 2018 large forest fires occurred in Africa, Australia and South America, South America. This indicates the need to unite scientists of all countries in the world to solve the problem of minimizing the actual fire rate of forests and the damage caused by forest fires. In light of climate change and other factors influencing the occurrence and spread of fires it is important to develop and implement a strategy to reduce damage from wildfires.

**Key words:** climate change, forest fires, forest fire data, thunderstorm activity, interregional interaction, preventive actions.

---

**ЕРИЦОВ Андрей Маркелович** – заместитель начальника ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана», кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0002-2756-5349.

141207, ул. Горького, д. 20, г. Пушкино, Московская обл., Россия.

**ERITSOV Andrey M.** – PhD (Agricultural), Deputy Head of FBI «Central Base of Aviation Forest Protection “Avialesookhrana». ORCID: 0000-0002-2756-5349.

141207. Gorky str. 20. Pushkino. Moscow region. Russia.

**БЕЗДЕНЕЖНЫХ Ирина Владимировна** – начальник отдела государственной экспертизы проектов освоения лесов Управления лесного хозяйства и особо охраняемых природных территорий Департамента недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры; кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0009-0003-6806-8968.

628011, ул. Дунина-Горкавича, д. 1, г. Ханты-Мансийск, Россия.

**BEZDENEZHNYKH Irina V.** – PhD (Agricultural), Head of the Department of State Expertise of Forest Development Projects of the Forestry Department and Specially Protected Natural Territories of the Department of Subsoil Use and Natural Resources of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. ORCID: 0009-0003-6806-8968.

628011. Dunina-Gorkavicha str. 1. Khanty-Mansiysk. Russia.

**ЗАЛЕСОВ Сергей Вениаминович** – заведующий кафедрой лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. ORCID: 0000-0003-3779-410x.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: zalesovsv@m.usfeu.ru

**ZALESOV Sergey V.** – DSc (Agricultural), Head of the Department of Forestry, Ural State Forestry Engineering, Professor. ORCID: 0000-0003-3779-410x

620100. Sibirskiy trakt str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: zalesovsv@m.usfeu.ru

**А.Б. Базаев, А.В. Грязькин, Х.М. Хетагуров, И.А. Николаев**

**СОСТАВ ФИТОЦЕНОЗОВ С ТИСОМ ЯГОДНЫМ  
В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ «БЕЛАЯ РЕЧКА» (РСО – АЛАНИЯ)**

*Введение.* Тис ягодный (*Taxus baccata* L.) – реликтовый вид, включенный в Красную книгу Республики Северная Осетия – Алания [Красная..., 2022], а также в Красную книгу РФ. При этом международным союзом охраны природы (МСОП) тису ягодному присвоен статус LC – Least concern, т.е. он отнесён к видам, вызывающим наименьшие опасения [Категории..., 2011].

Общие сведения по биологии и экологии тиса ягодного приводятся в ряде работ [Соколов, 1929; Ругузов, 1966; Лазук, 1967; Придня, 1984; Кулиев, Гумбатов, 1985; Конспект..., 2008; Базаев и др., 2013, 2016; Алексеевко и др., 2016; Резчикова, 2017; Базаев и др., 2023; Tekol, 2007; Slepuch, 2009; Vazaev et al., 2019]. А.В. Попович [2015] опубликовал данные по распространению *Taxus baccata* в Новороссийском флористическом районе (Северо-Западный Кавказ).

Возобновительный потенциал *Taxus baccata*, произрастающего в центральной части Западного Кавказа (на территории Краснодарского края и Республики Адыгея), оценивала О.Н. Резчикова [2010, 2017]. Многие авторы отмечают отсутствие возобновления *Taxus baccata* под материнским пологом [Соколов, 1929; Ругузов, 1966; Лазук, 1967; Придня, 1984; Резчикова, 2010, 2017].

В научной литературе имеются сведения как по морфологии вида [Дерюгина, Нестерович, 1981; Лепехина, 2002; Базаев и др., 2023], так и по анатомическому строению побегов, хвои и коры [Ругузов, 1966; Еремин, 1976; Орлова, 1978; Базаев и др., 2013, 2020]. Отличительные особенности ассимиляционного аппарата тиса ягодного в зависимости от высоты над уровнем моря исследовали А.Б. Базаев и др. [2013, 2023]. Были исследованы даже пыльцевые зёрна тиса ягодного и ультраструктура оболочки пыльцевых зёрен [Сулова, Гумбатов, 1986; Куприянова, Гумбатов, 1988].

*Цель исследования* – установление структуры фитоценозов, в формировании которых участвует *Taxus baccata*.

*Материалы и методика исследований.* Исследования проводились в Сунженском участковом лесничестве (Пригородное центральное лесничество).

ство) Республики Северная Осетия – Алания, в верховьях реки «Белая речка». В Лесохозяйственном регламенте лесничества и в материалах лесоустройства сведений о местах произрастания тиса мало<sup>1</sup>. В современной версии Красной книги республики [Красная..., 2022] содержится информация следующего характера: «...участок букового леса с примесью тиса площадью 5 га в Сунженском лесничестве Пригородного лесхоза с 1981 года объявлен памятником природы регионального (республиканского) значения».

Высота деревьев и крутизна склонов устанавливались с использованием высотомера Блюме-Лейсса. Высоту деревьев измеряли с точностью 0,5 м, а крутизну склона – с точностью 1°. Итоговые значения получали усреднением 3–5 измерений крутизны склона и 2–3 деревьев из преобладающих ступеней по диаметру ствола.

Состав древостоя и другие его характеристики установлены при сплошном перече́те деревьев всех пород на пробной площади [Лозовой, Гладышева, 1991]. Учет подроста, подлеска и живого напочвенного покрова производили на круговых учетных площадках радиусом 178,5 см в соответствии с патентом РФ № 2084129 [Грязькин, 1997].

Для подроста и подлеска устанавливали видовое разнообразие, численность по породам и группам высот. Для травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов фиксировали видовой состав, проективное покрытие и величину встречаемости.

Для сопоставления данных освещённость и температуру на объектах исследования измеряли синхронно на северном и южном склонах. Для этой цели использовали два люксметра марки ТКА-Люкс и два электронных термометра марки ТЕ-113.

Кроме освещенности и температуры на опытных участках определяли радиационный фон на поверхности почвы. Для этой цели использовали профессиональный дозиметр «Эколог Мини», позволяющий измерять альфа-, бета- и гамма-излучения.

*Результаты исследования и обсуждение.* На объектах исследования тис ягодный произрастает на микросклонах разных экспозиций. В большинстве случаев тис встречается на склонах северной и южной экспозиций. На всех опытных участках тис ягодный произрастает под пологом древостоев, в составе которых преобладает бук (рис. 1).

---

<sup>1</sup> Лесохозяйственный регламент Пригородного лесничества Республики Северная Осетия – Алания. Владикавказ, Министерство природных ресурсов и экологии РСО – Алания, 2019. 157 с.



Рис. 1. Тис ягодный под пологом древостоя с преобладанием бука в составе  
 Fig. 1. Yew berry under the canopy with a predominance of beech in the composition

Общие сведения об объектах исследования и их географические координаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Общие сведения об объектах исследования**

**General information on research objects**

Характеристика	Номер объекта исследования			
	1	2	3	4
Экспозиция склона	Ю	С	С	Ю
Крутизна склона, °	30–35	30–35	55–60	40–45
Высота над уровнем моря, м	950–972	950–986	972–1024	979–1028
Широта	42°59.481 с.ш.	42°59.588 с.ш.	42°59.521 с.ш.	42°59.478 с.ш.
Долгота	44°51.508 в.д.	44°51.512 в.д.	44°51.521 в.д.	44°51.565 в.д.

Сравнение основных характеристик фитоценозов, произрастающих на склонах северных и южных экспозиций, показало, что по основному компоненту фитоценозов – древостою – имеются различия в составе лесообразующих пород (табл. 2).

Таблица 2

**Таксационная характеристика древостоев по объектам**

**Taxation characteristics of forest stands by object**

Характеристика	Номер объекта исследования			
	1	2	3	4
Относительная полнота древостоя	0,47	0,56	0,32	0,41
Абсолютная полнота древостоя, м <sup>2</sup> /га	17,3	29,3	7,6	7,9
Густота древостоя, экз./га	231	510	232	192
Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га	206	341	65	75
Тип леса	Беж	Бсв	Бсв	Беж
Средняя высота тиса, м	4,5	4,8	5,6	6,6
Средний диаметр стволов тиса, см	6,4	9,5	11,0	13,6
Количество деревьев тиса, экз./га	49	261	92	24
Доля древесной породы в составе древостоя по запасу, %				
Бук восточный	80	81	89	87
Вяз шершавый	1	4	–	1
Клён остролистный (Кло)	1	–	–	3
Липа мелколистная (Лп)	16	6	6	8
Ольха чёрная (Олч)	–	8	–	–
Тис ягодный	1	1	5	1
Итого	100	100	100	100

*Примечание.* Бсв – бучина свежая, Беж – бучина ежевиковая

Определение сомкнутости крон на крутых склонах не представляется возможным, т.к. кроны деревьев и сами деревья произрастают на разной высоте по склону. Разница высот между верхней частью опытного участка и её нижней частью составляет 40–70 м.

Подрост на опытных участках характеризуется небольшой численностью. В составе подроста на каждом опытном участке выявлено 3–5 видов. Во всех случаях по численности преобладает подрост бука и тиса. Молодые особи вяза, клёна и липы встречаются единично или группами численностью 3–5 экземпляров. Размах варьирования высот для подроста бука значительный – от 0,3–0,7 до 3–4 м. Основная часть подроста тиса ягодного имеет высоту 0,1–0,3 м (табл. 3).

Таблица 3

**Основные характеристики подроста на опытных участках**

**Main characteristics of undergrowth on experimental plots**

Номер объекта	Состав, %	Численность подроста тиса, экз./га	Средняя высота подроста тиса, см
1	68Бук12Тис8Лп7Кло5Вяз	306	23,2
2	56Бук29Тис8Лп7Олч	218	31,5
3	51Бук44Тис5Лп	98	44,0
4	58Тис24Бук7Лп7Кло4Вяз	162	27,3

Практически весь подрост тиса ягодного относится к категории «жизнеспособный» (рис. 2).

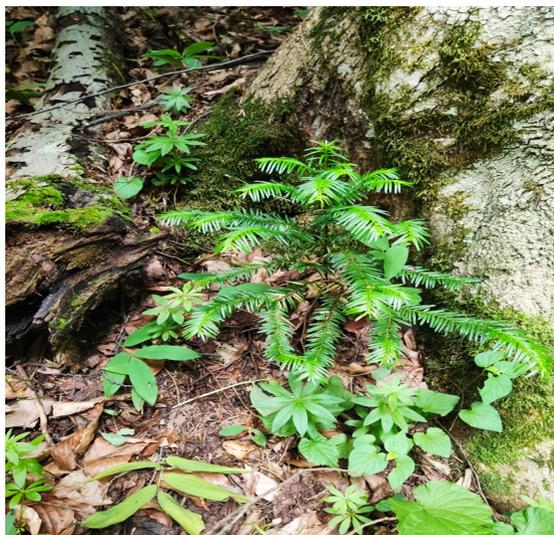


Рис. 2. Жизнеспособный подрост тиса ягодного  
Fig. 2. Viable undergrowth of yew berry

Под пологом древостоев на опытных участках встречается 2–4 вида кустарников, составляющих подлесок. Преобладают бузина чёрная и черника кавказская (табл. 4). Общая численность подлесочных пород не превышает 400 экз./га. Максимальная высота подлеска не более 2 м.

Таблица 4

**Основные характеристики подлеска на опытных участках**  
**Main characteristics of the undergrowth in the experimental plots**

Номер объекта	Состав, %	Численность подлеска, экз./га	Средняя высота подлеска, м
1	56Черника32Азалия12Бузина	388	1,4
2	100Бузина	108	1,1
3	90Черника8Бузина2Бересклет	96	1,0
4	90Бузина 8Черника2Бересклет	103	1,0

Живой напочвенный покров беден и представлен 8–12 видами. Лимитирующий фактор для этого компонента фитоценоза – режим освещенности. Уровень светового довольствия недостаточен для роста и развития многих видов в составе травяно-кустарничкового яруса. При этом в таких условиях встречаются и злаки, например, овсяница лесная (рис. 3).



Рис. 3. Овсяница лесная, или овсяница горная  
 (*Festuca drymeja* Mert. & W.D.J.Koch)  
 Fig. 3. Forest fescue, or mountain fescue  
 (*Festuca drymeja* Mert. & W.D.J.Koch)

В табл. 5 указан видовой состав живого напочвенного покрова на объектах исследования и величина встречаемости по каждому виду.

Таблица 5

**Встречаемость видов в составе живого напочвенного покрова, %**  
**Occurrence of species in living ground cover, %**

Название вида	Номер объекта исследования			
	1	2	3	4
Вороний глаз неполный <i>Paris incompleta</i> M. Bieb.	2	8	12	2
Габлиция тамусовидная <i>Hablitzia tamnoides</i> M. Bieb.	–	2	2	–
Ежевика кавказская <i>Rubus caucasicus</i> Focke	8	2	12	6
Купена многоцветковая <i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	2	2	2	2
Лапчатка мелкоцветковая <i>Potentilla micrantha</i> Ramond ex DC.	2	–	–	2
Осока лесная <i>Carex sylvatica</i> Huds.	42	2	–	22
Подмаренник душистый <i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.	2	2	2	2
Костенец сколопендровый, или олений язык <i>Asplenium scolopendrium</i> L.	2	4	2	2
Диоскорея (тамус) обыкновенная <i>Dioscorea communis</i> (L.) Caddick & Wilkin	2	–	–	2
Диоскорея кавказская <i>Dioscorea caucasica</i> Lipsky	2	–	2	2
Щитовник кавказский <i>Dryopteris caucasica</i> (A. Braun) Fraser-Jenk. & Corley	2	4	2	2
Толстостенка крупнолистная <i>Pachyphragma macrophyllum</i> (Hoffm.) N. Busch	22	12	4	14
Мертвопокровная парцелла	40	48	32	20
Цицербита крупнолистная <i>Cicerbita macrophylla</i> (Willd.) Wallr.	2	2	–	2
Всего видов	13	11	10	13

*Примечание.* Встречаемость 2% означает присутствие вида на объекте исследования (вид зафиксирован только на одной учётной площадке), знак «–» – отсутствие вида

Значения освещенности, температуры и радиационного режима на объектах исследования характеризуются широким размахом варьирования. В большей степени это относится к освещенности (табл. 6). Измерение температуры, освещенности и радиации проводили в промежутке от 12.00 до 12.30.

Таблица 6

**Освещенность, температура и радиационный режим на объектах исследования**

**Illumination, temperature and radiation regime at research sites**

Показатели	Номер объекта исследования			
	1	2	3	4
Температура воздуха, °С	22,1 20,0	19,1 18,1	23,2 18,4	25,8 21,0
Температура на поверхности почвы, °С	20,6 19,1	20,1 17,3	20,4 17,1	21,9 20,0
Температура почвы на глубине 5 см, °С	15,6 15,0	15,0 14,2	15,1 14,0	16,0 15,4
Температура почвы на глубине 10 см, °С	14,0 13,5	13,6 12,8	13,4 12,9	14,3 13,8
Освещенность приходящая, люкс	1420 410	900 620	1010 610	1700 840
Освещенность отражённая, люкс	112 56	28 18	32 17	124 68
Уровень радиации, мкЗв/час	0,16 0,19	0,14 0,18	0,14 0,17	0,17 0,20

*Примечание:* Верхняя строка – значения на верхней границе опытного участка, нижняя строка – в нижней части опытного участка

Под пологом древостоя на верхней границе опытных участков (на гребне) освещенность составляет 1420–1700 люкс или 2–3% от освещенности на открытом месте (66 тыс. люкс). Верхние горизонты почвы на указанной высоте (от 950 до 1028 м над уровнем моря) прогреваются в июне до 13–14 °С.

*Заключение.* Локальных мест произрастания *Taxus baccata* в центральной части Западного Кавказа в настоящее время сравнительно немного. Ценопопуляции тиса немногочисленные и небольшие по площади. В результате прошлых массовых рубок места компактного произрастания тиса ягодного встречаются на территории Северного Кавказа лишь эпизодически, причем чаще всего на труднодоступных крутых склонах. В лесном фонде Сунженского участкового лесничества тис произрастает главным образом на микросклонах северной и южной экспозиций, на высоте не более 1030 м над уровнем моря.

Под пологом древостоев с преобладанием бука в составе тис произрастает небольшими группами или куртинами. Размах варьирования растений по высоте широкий – от 10 см до деревьев высотой более 12 м. Численность деревьев *Taxus baccata* составляет 24–261 экз./га, а численность подраста – от 98 до 306 экз./га. Кроме тиса, в составе подраста отмечаются бук, липа, клён остролистный. Подлесок представлен черникой кавказской, азалией, бузиной чёрной и бересклетом. В травяно-кустарничковом ярусе на опытных участках встречается от 10 до 13 видов.

*Вклад авторов.* Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Алексеевко Н.А., Бибин А.Р., Грабенко Е.А., Медведев А.А. Мониторинг тиса в Хостинской тисо-самшитовой роще по данным с беспилотных летательных аппаратов // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: матер. III Всерос. науч.-практич. конф. Т. 3. Сочи, 2016. С. 38–44.

Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М. Особенности структуры древесных ресурсов буковых лесов Северной Осетии // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 09. С. 3–7.

Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А., Кочкин А.А. Растения спутники тиса ягодного // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620966. Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 19.07.2016. Заявка № 2016620711.

Базаев А.Б., Грязькин А.В., Ярмишко В.Т., Хетагуров Х.М., Николаев И.А. Влияние условий произрастания на биометрические характеристики и анатомию хвои *Taxus baccata* // Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. № 57 (2). С. 157–166.

Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М. Тис ягодный на Кавказе: монография. 2-е изд. СПб.: Лань, 2023. 132 с.

Грязькин А.В. Патент 2084129 Российская Федерация. Способ учета подроста. МКИ С 6 А 01 G 23/00. № 94022328/13. Заяв. 10.06.94; Оpub. 20.07.97, Бюл. № 20.

Дерюгина Т.В., Нестерович Н.Д. Особенности морфологического строения некоторых видов рода тис (*Taxus L.*) // Доклад АН БССР. 1981. Т. 25, № 7. С. 652–655.

Еремин В.М. Анатомическое строение коры тиса ягодного и тиса остроко-  
нечного (*Taxus baccata L.*, *T. cuspidata Sieb.et Zucc.*) // Биологические науки. 1976. № 11. С. 69–73.

Категории и критерии Красного списка МСОП: версия 3.1. 2001. 30 с.

Конспект флоры Кавказа / отв. ред. акад. А.Л. Тахтаджян. Т. 3. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 469 с.

Красная книга РСО – Аляния / Министерство природных ресурсов и экологии РСО – Аляния, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова. Владикавказ: Перо и Кисть, 2022. 356 с.

Кулиев В.Ш., Гумбатов З.И. Тис ягодный // Природа. 1985. № 3. С. 96–97.

Куприянова Л.А., Гумбатов З.И. Морфология пыльцевых зерен *Taxus baccata (Taxaceae)* // Ботанический журнал. 1988. Т. 73, № 5. С. 661–665.

Лазук П.Д. Тис и его восстановление на Северо-Западном Кавказе // Труды КГЗ. Краснодар, 1967. Вып. 9. С. 285–301.

Лепехина А.А. Флора и растительность Дагестана. Ботанические факторы ноосферы. Махачкала, 2002. 352 с.

Лозовой А.Д., Гладышева Н.В. Методика и техника работ на пробных площадях: метод. указания для студентов спец. «Лесное и садово-парковое хозяйство». Воронеж, 1991. 72 с.

Орлова С.Я. Строение вегетативных органов тиса ягодного, анатомическое изменение листьев разного возраста и распределение в них фенольных соединений // Известия АН Азербайджанской ССР. Биологические науки. 1978. № 6. С. 14–19.

Попович А.В. Распространение *Taxus baccata L.* в Новороссийском флористическом районе (Северо-Западный Кавказ) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2015. № 3. С. 21–27.

Придня М.В. Фитоценотические позиции и структура хостинской популяции тиса ягодного в Кавказском биосферном заповеднике // Экология. 1984. № 1. С. 3–8.

Резчикова О.Н. Распространение и состояние тиса ягодного (*Taxus baccata L. (Taxaceae)*) на северном макросклоне главного Кавказского хребта // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. № 2. С. 32–39.

Резчикова О.Н. Характер возобновления *Taxus baccata* на Западном Кавказе // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2017. Вып. 3. С. 24–28.

Ругузов И.А. Распространение тиса в Кабардино-Балкарии // Природа Кабардино-Балкарии и ее охрана. Нальчик, 1966. С. 136–142.

Соколов С.Я. Общий естественно-исторический и лесоводственный очерк Сочинского района: отчет за первый год работы лесоводственного отряда Кавказской экспедиции. М.: Л., 1929. 415 с.

Сурова Т.Д., Гумбатов З.И. Ультраструктура оболочки пыльцевых зерен кавказских представителей *Taxus baccata* (*Taxaceae*) // Ботанический журнал. 1986. Т. 71, №7. С. 886–888.

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov Kh.M., Gutal M.M., Nikolaev I.A. Yew berry in dendrocenoses of North Ossetia // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Vol. 10, iss. 2. P. 926–937.

Slepych W.W., Kotljarow I.I., Pridnja M.W. Neue Fundorte der Eibe (*Taxus baccata* L.) im Nord-Kaukasus (Russland, Karatschajewo-Tscherkessien) // Der Eibenfreund. 2009. No. 15. S. 132–140.

Tekol Y. The medieval physician Avicenna used an herbal calcium channel blocker, *Taxus baccata* L. // Phytotherapy Research. 2007. Vol. 21, no. 7. P. 701–702. DOI: 10.1002/ptr.2173.

## References

Alekseenko N.A., Bibin A.R., Grabenko E.A., Medvedev A.A. Monitoring of yew in the Khostinskaya yew-boxwood grove according to data from unmanned aerial vehicles. *Sustainable development of specially protected natural territories: materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference*. Vol. 3. Sochi, 2016, pp. 38–44. (In Russ.)

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov H.M. Wood resources structure features of North Ossetia beech forests. *Bulletin of the Saratov State Agricultural University named after N.I. Vavilov*, 2013, no. 09, pp. 3–7. (In Russ.)

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov H.M., Nikolaev I.A., Kochkin A.A. Plants satellites of yew berry. Certificate of state registration of the database No. 2016620966. The date of state registration in the Database Registry is 07/19/2016. Application no. 2016620711. (In Russ.)

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov Kh.M., Gutal M.M., Nikolaev I.A. Yew berry in dendrocenoses of North Ossetia. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2019, vol. 10, iss. 2, pp. 926–937.

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Yarmishko V.T., Khetagurov H.M., Nikolaev I.A. Influence of growing conditions on biometric characteristics and anatomy of needles of *Taxus baccata*. *Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, no. 57 (2), pp. 157–166. (In Russ.)

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov H.M. Yew berry in the Caucasus: a monograph. 2nd ed. St. Petersburg: Lan', 2023. 132 p. (In Russ.)

Categories and criteria of the IUCN Red List, version 3.1. 2001. 30 p. (In Russ.)

Deryugina T.V., Nesterovich N.D. Peculiarities of morphological manifestation of some species of the genus Yew (*Taxus* L.). *Report of the Academy of Sciences of the BSSR*, 1981, vol. 25, no. 7, pp. 652–655. (In Russ.)

Eremin V.M. Anatomical structure of the bark of the common yew and the pointed yew (*Taxus baccata* L., *T. cuspidata* Sieb. et Zucc.). *Biological sciences*, 1976, no. 11, pp. 69–73. (In Russ.)

Gryazkin A.V. Patent 2084129 Russian Federation. The method of accounting for undergrowth. MKI C 6 A 01 G 23/00. No. 94022328/13. Application. 10.06.94; Pub. 07/20/97, Bulletin No. 20. (In Russ.)

Kuliev V.Sh., Gumbatov Z.I. Yew berry. *Priroda*, 1985, no. 3, pp. 96–97. (In Russ.)

Kupriyanova L.A., Gumbatov Z.I. Morphology of pollen grains of *Taxus baccata* (*Taxaceae*). *Botanicheskii Zhurnal*, 1988, T. 73, no. 5, pp. 661–665. (In Russ.)

Lazuk P.D. Yew and its restoration in the North-Western Caucasus. *Proceedings of the KGZ*, 1967, iss. 9, pp. 285–301. (In Russ.)

Lepekhina A.A. Flora and vegetation of Dagestan. Botanical factors of the noosphere. Makhachkala, 2002. 352 p. (In Russ.)

Lozovoy A.D., Gladysheva N.V. Methods and techniques of work on trial areas: method. instructions for students by specialty «Forestry and landscape gardening». Voronezh, 1991. 72 p. (In Russ.)

Orlova S.Ya. Structure of vegetative organs of yew, anatomical changes in leaves of different ages and distribution of phenolic compounds in them. *Bulletin of the Academy of Sciences of the Azerbaijan SSR. Biological sciences*, 1978, no. 6, pp. 14–19. (In Russ.)

Popovich A.V. Distribution of *Taxus baccata* L. in the Novorossiysk floristic district (North-Western Caucasus). *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 2015, no. 3, pp. 21–27. (In Russ.)

Pridnya M.V. Phytocenotic positions and structure of the Khostin yew berry population in the Caucasian Biosphere Reserve. *Ecology*, 1984, no. 1, pp. 3–8. (In Russ.)

The Red Book of the Republic of North Ossetia – Alania / Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of North Ossetia – Alania, K.L. Khetagurov North Ossetian State University. Vladikavkaz: Pen and Brush, 2022. 356 p. (In Russ.)

Rezchikova O.N. Distribution and condition of berry yew (*Taxus baccata* L. (*Taxaceae*)) on the northern macroslope of the Main Caucasian ridge. *News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences*, 2010, no. 2, pp. 32–39. (In Russ.)

Rezchikova O.N. The nature of the regeneration of *Taxus baccata* in the Western Caucasus. *Bulletin of the Adygea State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences*, 2017, iss. 3, pp. 24–28. (In Russ.)

Ruguzov I.A. The spread of yew in Kabardino-Balkaria. *The nature of Kabardino-Balkaria and its protection*. Nalchik, 1966, pp. 136–142. (In Russ.)

Slepych W.W., Kotljarov I.I., Pridnja M.W. Neue Fundorte der Eibe (*Taxus baccata* L.) im Nord-Kaukasus (Russland, Karatschajewo-Tscherkessien). *Der Eibenfreund*, 2009, no. 15, pp. 132–140.

Sokolov S.Ya. General natural-historical and forestry essay of the Sochi region: report for the first year of the forestry detachment of the Caucasian expedition. Moscow; Leningrad, 1929. 415 p. (In Russ.)

Surova T.D., Gumbatov Z.I. Ultrastructure of the shell of pollen grains of Caucasian representatives of *Taxus baccata* (Taxaceae). *Botanicheskii Zhurnal*, 1986, vol. 71, no. 7, pp. 886–888. (In Russ.)

Synopsis of the flora of the Caucasus / ed. by akad. A.L. Takhtajyan. Vol. 3. St. Petersburg; Moscow, 2008, 469 p. (In Russ.)

Tekol Y. The medieval physician Avicenna used an herbal calcium channel blocker, *Taxus baccata* L. *Phytotherapy Research*, 2007, vol. 21, no. 7, pp. 701–702. DOI:10.1002/ptr.2173.

Материал поступил в редакцию 14.09.2024

---

**Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А.** Состав фитоценозов с тисом ягодным в верховьях реки «Белая речка» (РСО – Алания) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 34–48. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.34-48

Представлены оригинальные данные по структуре горных фитоценозов с тисом ягодным в составе. Тис произрастает на склонах разных экспозиций и разной крутизны под пологом древостоев, в составе которых преобладает бук восточный. Объект исследования – фитоценозы в лесном фонде Сунженского участкового лесничества Пригородного лесничества Республики Северная Осетия – Алания. Опытные участки расположены в верховьях реки «Белая речка». Высота над уровнем моря – от 950 до 1028 м. Учёт состава и структуры фитоценозов осуществлялся на пробных площадях со сплошным перечётом деревьев. Численность, состав и структуру по высоте растительности нижних ярусов учитывали на круговых учетных площадках по 10 м<sup>2</sup>. Показано, что численность деревьев *Taxus baccata* L. на опытных участках варьирует в широких пределах – от 24 до 261 экз./га. Отмечается, что на северных микросклонах численность тиса в несколько раз больше, чем на склонах южной экспозиции. Средняя высота тиса на объектах исследования 4,5–6,6 м, средний диаметр ствола – от 6,4 до 13,6 см. Молодое поколение тиса представлено растениями разной высоты в количестве от 98 до 306 экз./га. Кроме тиса в составе подроста встречаются бук, вяз, липа, клён остролистный, ольха чёрная. В составе подлеска выявлено 4 вида – азалия, бересклет, бузина чёрная, черника кавказская. Общая численность подлесочных пород составляет 96–388 экз./га. Установлен видовой состав травостоя, представленный 10–13 видами. Полученные результаты могут служить определённым вкладом в исследование характера распространения и условий произрастания тиса ягодного – реликтового вида Кавказа.

Ключевые слова: Северный Кавказ, буковые древостои, тис ягодный, численность, структура по высоте.

**Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov H.M., Nikolaev I.A.** Composition of phytocoenoses with Yew berry in the upper reaches of river «White river» (RNO – Alania). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 34–48 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.34-48

Original data on the structure of mountain phytocoenoses containing yew berry are presented. Yew grow on slopes of different exposures, with different slope steepnesses under the canopy of tree stands, which are dominated by eastern beech. The object of the study is phytocoenoses in the forest fund of the Sunzhensky district forestry of the Prigorodny forestry of the Republic of North Ossetia – Alania. The experimental sites are located in the upper reaches of a river called Belaya Rechka. Altitude above sea level – from 950 to 1028 m. The composition and structure of phytocoenoses was taken into account on test plots with a continuous count of trees. The number, composition and height structure of the vegetation of the lower tiers were taken into account on circular counting areas of 10 m<sup>2</sup>. It has been shown that the number of *Taxus baccata* L. trees in the experimental plots varies widely – from 24 to 261 spc./ha. It is noted that on the northern microslopes, the number of yews is several times greater than on the southern slopes. The average height of yew at the study sites is 4.5–6.6 m, the average trunk diameter is from 6.4 to 13.6 cm. The young generation of yew is represented by plants of different heights in quantities from 98 to 306 spc./ha. In addition to yew, the undergrowth also includes beech, elm, linden, Norway maple and black alder. Four species were identified in the undergrowth: azalea, spindle tree, black elderberry and Caucasian blueberry. The total number of undergrowth species is 96–388 ind./ha. The species composition of the grass stand has been established, represented by 10–13 species. The results obtained can serve as a definite contribution to the study of the nature of the distribution and growth conditions of yew berry – a relict species of the Caucasus.

**Key words:** Northern Caucasus, beech stands, yew, numbers, height structure.

---

**БАЗАЕВ Анвар Батразович** – доцент кафедры лесоводства и защиты леса Горского государственного аграрного университета, кандидат биологических наук, доцент. SPIN-код: 7191-7240. ORCID: 0000-0002-0979-3858.

362040, ул. Кирова, д. 37, г. Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания, Россия. E-mail: bazanvar@yandex.ru

**BAZAEV Anwar B.** – PhD (Biological), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Protection of the Gorsky State Agrarian University, Associate Professor. SPIN-code: 7191-7240. ORCID: 0000-0002-0979-3858.

362040. Kirov str. 37. Vladikavkaz. Republic of North Ossetia – Alania. Russia. E-mail: bazanvar@yandex.ru

**ГРЯЗЬКИН Анатолий Васильевич** – профессор кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук, профессор. SPIN-код: 7206-1050. Researcher ID: C-6699-2018. ORCID: 0000-0002-3497-9312. SCOPUS Author ID: 55988504200.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lesovod@bk.ru

**GRYAZKIN Anatoly V.** – DSc (Biological), Professor of the Department of Forestry of the St. Petersburg State Forestry University, Professor. SPIN-code: 7206-1050. Researcher ID: C-6699-2018. ORCID: 0000-0002-3497-9312. SCOPUS Author ID: 55988504200.

194024. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lesovod@bk.ru

**ХЕТАГУРОВ Хетаг Муратович** – декан факультета химии, биологии и биотехнологии Северо-Осетинского государственного университета имени К.Л. Хетагурова, доктор биологических наук, профессор. SPIN-код: 2032-7797. ORCID: 0000-0002-2684-897X.

362025, ул. Ватутина, д. 44-46, г. Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания, Россия. E-mail: zaz81@inbox.ru

**KHETAGUROV Khetag M.** – DSc (Biological), Dean of the Faculty of Chemistry, Biology and Biotechnology of the North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, Professor. SPIN-code: 2032-7797. ORCID: 0000-0002-2684-897X.

362025. Vatutina str. 44-46. Vladikavkaz. Republic of North Ossetia – Alania. Russia. E-mail: zaz81@inbox.ru

**НИКОЛАЕВ Игорь Анатольевич** – доцент кафедры анатомии, физиологии и ботаники Северо-Осетинского государственного университета имени К.Л. Хетагурова, кандидат биологических наук, доцент. SPIN-код: 2777-0993. ORCID: 0000-0002-2379-7601.

362025, ул. Ватутина, д. 44-46, г. Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания, Россия. E-mail: bootany@yandex.ru

**NIKOLAEV Igor A.** – PhD (Biological), Associate Professor of the Department of Anatomy, Physiology and Botany of the North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, Associate Professor. SPIN-code: 2777-0993. ORCID: 0000-0002-2379-7601

362025. Vatutina str. 44-46. Vladikavkaz. Republic of North Ossetia – Alania. Russia. E-mail: bootany@yandex.ru

**Г.Г. Терехов, Е.М. Андреева, С.К. Стеценко, Н.Н. Теринов**

**РОСТ СИБИРСКОЙ И ЕВРОПЕЙСКОЙ ЕЛЕЙ  
В КУЛЬТУРАХ ПОСЛЕ ПРОЧИСТКИ  
В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ**

*Введение.* Еловые леса в пределах России занимают площадь не менее 25 млн га [Харитонович, 1968], на территории Пермской и Свердловской областей – более 7 млн га. Большая часть их расположена в горных районах, где они являются источником древесины и одновременно выполняют многие средообразующие функции. В результате многолетней эксплуатации этих лесов сплошными рубками заметно выражен процесс смены коренных темнохвойных пород на малоценные мягколиственные. Для преодоления этой тенденции за последние 60 лет здесь создано более 1 млн га культур ели [Терехов и др., 2012]. За этот период на сплошных вырубках, с 5-летним сроком примыкания лесосек, образованы огромные участки высокополнотных еловых культур. Это, по сути, разновозрастные единые массивы, достигающие 300–500 га, где необходимы лесоводственные мероприятия для формирования высокопроизводительных еловых насаждений.

Ель европейская широко распространена на территории Предуралья (Пермский край, Башкортостан), а в Свердловской области она и ее гибриды с елью сибирской встречаются в составе насаждений лишь на юго-западной окраине области (подзона хвойно-широколиственных лесов) [Науменко, 1964; Мамаев, Некрасов, 1968; Серебряный, 1974; Правдин, 1975; Морозов, 1976; Бобров, 1980; Попов, 2016; Попов и др., 2019]. До настоящего времени нами не обнаружено сведений о создании культур ели европейской на вырубках лесной зоны Свердловской области. Однако на этой территории в южнотаежных лесах на одних и тех же вырубках в трех типах леса авторами в один год созданы культуры ели европейской и ели сибирской. Их формирование происходит при одинаковом режиме выращивания, поэтому мы считаем, что изучение влияния рубок ухода на рост и производительность двух видов елей в культурах второго класса возраста в разных типах леса является актуальной задачей.

*Цель работы* – изучение текущего периодического прироста морфометрических показателей в культурах сибирской и европейской елей второго класса возраста после прочистки в разных типах леса.

*Материалы и методика исследования.* Объектами исследований являлись опытно-производственные участки (ОПУ) культур елей сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), созданные на сплошных вырубках в трех типах леса. ОПУ-1 расположен в ельнике разно-травно-зеленомошниковом (Е р.-зм.), почвы – свежие, периодически влажные, посадка по микроповышениям; ОПУ-2 – в ельнике-сосняке травяном (Е-С тр.), почвы – устойчиво свежие, посадка по целине без минерализации почвы (химическая обработка травяного покрова за год до посадки); ОПУ-3 – в ельнике-сосняке ягодниковом (Е-С яг.), почвы – свежие, периодически сухие, посадка по микропонижениям. Расположение культур на всех ОПУ – полосное, на каждой полосе посажено по 4 ряда одного вида ели (4-летние сеянцы), повторность полос 2-кратная. Ширина междурядий на ОПУ-1 – 3,2 м, на ОПУ-2 – 3,1 м и на ОПУ-3 – 4,1 м, шаг посадки – 0,6–0,8 м. Сеянцы выращены на питомнике Билимбаевского лесхоза, семена ели сибирской местные, ели европейской – из Можгинского лесхоза (Удмуртия). Все ОПУ находятся на территории Починковского участкового лесничества (ОПУ-1 – кв. 103, выд. 17; ОПУ-2 – кв. 109, выд. 16; ОПУ-3 – кв. 95, выд. 24) Невьянского лесничества Свердловской области, расположенного в низкогорных лесах подзоны южной тайги [Колесников и др., 1973].

Осветление выполнено в 9-летних культурах вдоль рядов узкими коридорами (ширина 1,5–2,0 м), прочистка – в 19-летних культурах согласно нормативным документам<sup>1</sup>. При прочистке осенью 2004 г. одновременно на каждой полосе (секции) всех ОПУ проведена сплошная рубка (прочистка) естественных деревьев. Затем на одной секции каждого вида елей равномерно изредили деревья в рядах. Промежутки между кронами оставшихся елей – 1–2 м. На каждом ОПУ образовалось по 4 секции: секция 1 – ель сибирская без изреживания деревьев в рядах; секция 2 – ель сибирская с изреживанием; секция 3 – ель европейская без изреживания деревьев в рядах; секция 4 – ель европейская с изреживанием. На секциях 1 и 3 степень вырубки деревьев 39–49%, на секциях 2–4 – 51–67%.

Морфометрические показатели каждого дерева обоих видов елей на всех секциях изучены в конце сентября 2004 г. и в сентябре-октябре 2016 г. Текущий периодический (12-летний, с 2005 по 2016 гг.) прирост ствола елей сравнивается относительно средних величин в начале и в конце исследований. При сравнении показателей роста деревьев применялся дис-

---

<sup>1</sup> Правила ухода за лесами. Утверждены приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30 июля 2020 года №534. 206 с.

персионный анализ, различия между выборками – по критерию Фишера. Запас сырой древесины елей определен по П.П. Изюмскому [1972]. Класс бонитета установлен в 2004 г. для 20-летних, а в 2016 г. – для 40-летних деревьев (31 год – возраст культур + 4 года – возраст сеянцев, биологический возраст деревьев округлен до 40 лет).

*Результаты исследования и обсуждение.* Состав древостоя после проредки на всех секциях каждого ОПУ был 10Е, относительная полнота на секциях с изреживанием – 0,5, без изреживания – 0,7. Оставшиеся деревья обоих видов елей на секциях 2 и 4 по росту и развитию соответствовали I, II, III и IV классам (по Крафту). За 12-летний период на каждом участке восстановились вегетативным путем береза, ива, рябина, черемуха и осина. Развитие их по междурядьям носило фрагментарный характер, наиболее активно отмечено в типе леса Е р.-зм. [Терехов и др., 2022]. Общая площадь проекции крон деревьев и кустарников вторичного возобновления в 2016 г. не превышала 25% территории междурядий, а высота поросли – 2,5–6,3 м, что значительно ниже средней высоты деревьев обоих видов елей. На данный момент, в большинстве случаев, для ближайших деревьев главной породы поросль выполняет роль подгона в росте, кроме того, обогащает хвойный древесный опад листвой, которая также закрывает выпавшие семена елей от поедания птицами. Запас древесины березы и осины в 2016 г. на всех секциях ОПУ не превышал 7% от общего запаса.

Морфометрические показатели деревьев ели в начале и по окончании исследований приведены в табл. 1. Лучшие приросты ствола елей сибирской и европейской отмечены в Е р.-зм и Е-С тр. Прирост ствола по высоте и диаметру за 12 лет в условиях отсутствия лиственных пород, затенявших деревья елей, составил почти половину от общих показателей, минимальным он был в Е-С яг. Во всех типах леса рост ствола по высоте наиболее выражен у ели европейской, но различие между видами елей достоверно лишь в типе леса Е р.-зм. на секциях без изреживания ( $t_{\text{факт}} = 3,27 > t_{0,05} = 2,37$ ). По высоте 31-летние культуры обоих видов елей на секциях 2 и 4 в типах леса Е р.-зм. и Е-С тр. соответствовали I классу бонитета, в Е-С яг. – II классу. По сравнению с высотой, более показателен прирост ствола по диаметру, большая величина которого отмечена всюду у ели европейской на секции 4, но различия между видами елей по диаметру отсутствуют ( $t_{\text{факт}} = 0,98-1,79$  при  $t_{0,05} = 2,37$ ). В таежно-лесостепных условиях Сибири культуры ели европейской демонстрируют размерное преимущество по высоте и диаметру ствола над елью сибирской до 20-летнего возраста [Вараксин и др., 2010].

Таблица 1

**Таксационные показатели развития деревьев елей перед началом  
(в числителе) и по окончании (в знаменателе) исследований**

**Taxation indicators of spruce tree development before the start  
(in the numerator) and at the end (in the denominator) of the research**

№ секции	Количество деревьев, шт./га	Показатели ствола		Прирост* высоты диаметра за 12 лет, %	Запас древесины, м <sup>3</sup> /га	Запас древесины среднего дерева, м <sup>3</sup>	Сумма площади сечения, м <sup>2</sup> /га
		высота, м	диаметр, см				
ОПУ-1							
1	$\frac{4170}{3773}$	$\frac{7,9 \pm 0,53}{14,3 \pm 0,59}$	$\frac{6,1 \pm 0,48}{12,6 \pm 0,81}$	$\frac{44,8}{51,6}$	$\frac{55,9}{216,1}$	$\frac{0,0134}{0,0573}$	$\frac{12,18}{35,40}$
2	$\frac{1792}{1776}$	$\frac{7,8 \pm 0,59}{14,8 \pm 0,64}$	$\frac{7,6 \pm 0,53}{13,7 \pm 0,86}$	$\frac{47,3}{51,8}$	$\frac{42,8}{152,2}$	$\frac{0,0239}{0,0857}$	$\frac{8,12}{26,28}$
3	$\frac{2597}{2364}$	$\frac{7,6 \pm 0,54}{17,8 \pm 0,89}$	$\frac{6,4 \pm 0,57}{10,9 \pm 0,76}$	$\frac{57,3}{41,3}$	$\frac{50,9}{199,7}$	$\frac{0,0196}{0,0845}$	$\frac{8,35}{35,49}$
4	$\frac{1923}{1912}$	$\frac{8,7 \pm 0,67}{16,9 \pm 0,89}$	$\frac{6,7 \pm 0,52}{14,4 \pm 0,88}$	$\frac{48,5}{53,5}$	$\frac{38,3}{183,7}$	$\frac{0,0199}{0,0961}$	$\frac{6,78}{31,47}$
ОПУ-2							
1	$\frac{3216}{2913}$	$\frac{6,5 \pm 0,12}{12,3 \pm 0,51}$	$\frac{6,7 \pm 0,21}{11,9 \pm 0,31}$	$\frac{47,2}{43,7}$	$\frac{53,4}{196,7}$	$\frac{0,0166}{0,0675}$	$\frac{11,33}{39,14}$
2	$\frac{1886}{1883}$	$\frac{6,8 \pm 0,11}{13,4 \pm 0,32}$	$\frac{6,9 \pm 0,22}{13,7 \pm 0,36}$	$\frac{49,3}{49,6}$	$\frac{31,3}{181,1}$	$\frac{0,0166}{0,0962}$	$\frac{7,05}{28,66}$
3	$\frac{3090}{2453}$	$\frac{6,0 \pm 0,29}{12,5 \pm 0,60}$	$\frac{6,1 \pm 0,38}{12,2 \pm 0,29}$	$\frac{52,0}{50,0}$	$\frac{44,9}{201,5}$	$\frac{0,0145}{0,0821}$	$\frac{9,03}{31,47}$
4	$\frac{1223}{1176}$	$\frac{6,2 \pm 0,24}{14,3 \pm 0,37}$	$\frac{6,5 \pm 0,42}{14,9 \pm 0,63}$	$\frac{56,6}{56,4}$	$\frac{28,9}{153,2}$	$\frac{0,0236}{0,1303}$	$\frac{4,06}{22,51}$
ОПУ-3							
1	$\frac{2483}{1871}$	$\frac{7,2 \pm 0,34}{10,0 \pm 0,71}$	$\frac{6,9 \pm 0,24}{10,5 \pm 0,58}$	$\frac{28,0}{34,3}$	$\frac{41,2}{108,8}$	$\frac{0,0166}{0,0579}$	$\frac{9,28}{17,83}$
2	$\frac{1401}{1385}$	$\frac{7,4 \pm 0,36}{12,9 \pm 0,37}$	$\frac{7,4 \pm 0,29}{14,2 \pm 0,73}$	$\frac{41,1}{47,9}$	$\frac{25,6}{142,0}$	$\frac{0,0183}{0,1025}$	$\frac{6,02}{22,60}$
3	$\frac{2794}{2249}$	$\frac{7,4 \pm 0,34}{11,7 \pm 0,51}$	$\frac{6,8 \pm 0,24}{11,2 \pm 0,33}$	$\frac{36,8}{39,3}$	$\frac{46,4}{181,9}$	$\frac{0,0166}{0,0809}$	$\frac{10,14}{23,83}$
4	$\frac{1096}{1060}$	$\frac{7,9 \pm 0,36}{13,9 \pm 0,29}$	$\frac{7,9 \pm 0,29}{14,9 \pm 0,45}$	$\frac{43,2}{47,0}$	$\frac{22,5}{141,3}$	$\frac{0,0205}{0,1333}$	$\frac{5,37}{19,32}$

Примечание: \* – периодический 12-летний прирост (с 2005 по 2016 гг.) ствола по высоте (в числителе) и диаметру (в знаменателе) относительно исходного (в 2004 г.)

На секциях 1 и 3 среди растущих деревьев елей обоих видов много сухих деревьев, их высота не превышала 2–3 м, диаметр – 1–2 см. Запас сухой древесины в культурах ели сибирской составлял от 6,1 до 8,9 м<sup>3</sup>/га, ели европейской – 5,8–9,4 м<sup>3</sup>/га. Среди живых деревьев, из-за высокой густоты, сильно выражена дифференциация (коэффициент напряженности роста) [Рогозин, Разин, 2011; Пак, Гаврилова, 2017], особенно в Е р.-зм. Разница высот между лидерами и отставшими в росте деревьями 3–4-кратная. Деревья-лидеры расположены крайне неравномерно (от одиночных до групп по 4–6 деревьев), поэтому в рядах необходимо срочно провести равномерное прореживание деревьев, чтобы ускорить выращивание елового баланса [Письмеров и др., 1980].

Распределение деревьев обоих видов елей по ступеням толщины в 31-летних культурах приведено на рис. 1 и 2. Доля деревьев со ступенями толщины меньше средней величины у ели сибирской на секциях без изреживания в типе леса Е р.-зм. составила 65,5%, Е-С тр. – 40,7% и Е-С яг. – 33,3%; у ели европейской – соответственно, 51,6%, 44,5% и 45,6%. На секциях с изреживанием во всех типах леса у обоих видов елей средняя величина на 1-2 ступень толщины больше; количество деревьев ниже этой величины в них было от 32 до 40%. Количество деревьев выше средней ступени толщины на секциях с изреживанием у ели сибирской – от 33 до 55% (максимальное в Е-С яг.), у ели европейской – 36–46% (максимальное в Е-С тр.) от общего количества растущих деревьев.

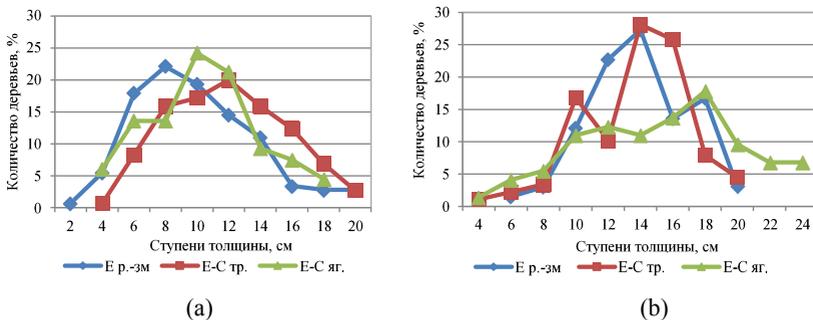


Рис. 1. Распределение по ступеням толщины деревьев в культурах ели сибирской без изреживания (а) и с изреживанием (б)

Fig. 1. Distribution of Siberian spruce trees in forest cultures by thickness without thinning (a) and with thinning (b)

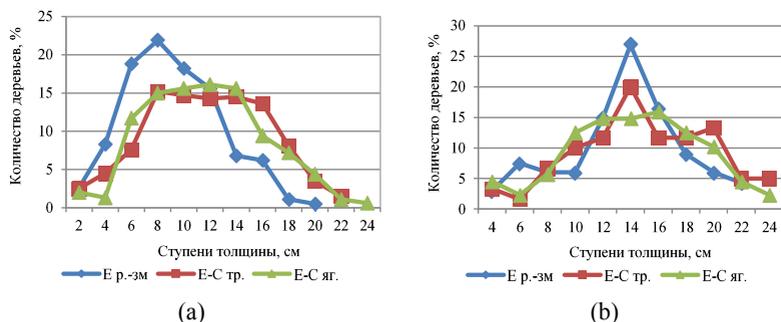


Рис. 2. Распределение по ступеням толщины деревьев в культурах ели европейской без изреживания (а) и с изреживанием (б)

Fig. 2. Distribution of European spruce trees in forest cultures by thickness grades without thinning (a) and with thinning (b)

По категории крупности деревьев<sup>1</sup> в 31-летних культурах почти во всех типах леса преобладает группа мелких круглых лесоматериалов, на долю средних приходится не более 1/3 от общего количества; группа крупных – более 20 см – присутствует в небольшом количестве у ели сибирской лишь в Е-С яг. на секции 2 (13%), у ели европейской на секциях 4 во всех исследованных типах леса, а на секциях 3 в Е-С тр. (10%) и Е-С яг (2,3%).

Распределение площади сечения по ступеням толщины обоих видов елей приведено на рис. 3 и 4. Доля площади сечения деревьев ели сибирской, превышающих средний диаметр на секциях 2, в типе леса Е р.-зм. составила 58,1% от общей площади, в Е-С тр. – 55,1% и в Е-С яг. – 79,2%, ели европейской – соответственно, 49,8%, 72,2% и 71,2%.

Площадь сечения среднего дерева ели сибирской на секции 2 больше, чем на секции 1 на 13–72%, минимальная разница наблюдается в Е р.-зм., максимальная – в Е-С яг. У ели европейской различие между секцией 3 и 4 по этим типам леса составило 12–26%, максимальным оно было в Е-С тр., минимальным (12 %) – в Е р.-зм и Е-С яг. Во всех типах леса площадь сечения среднего дерева была больше у ели европейской. Различие между видами елей по площади сечения среднего дерева на секциях с изреживанием в Е р.-зм. и Е-С яг. было 12%, в Е-С тр. – 26%.

<sup>1</sup> ГОСТ 9463-2016. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. Дата введения в действие 01.05. 2017 г. Дата актуализации 01.07.2023 г.

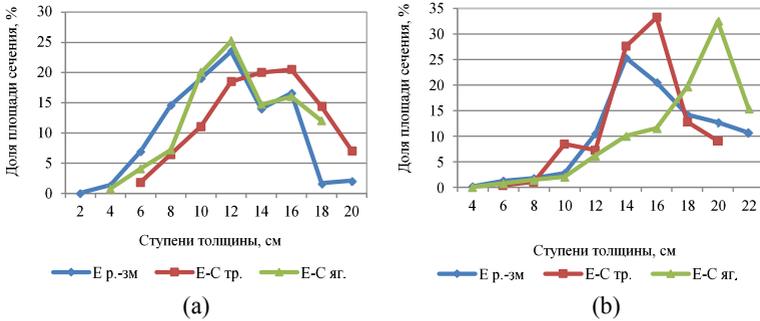


Рис. 3. Распределение площади сечения по ступеням толщины в культурах ели сибирской без изреживания (а) и с изреживанием (б)

Fig. 3. Distribution of European spruce trees in forest cultures by thickness grades without thinning (a) and with thinning (b)

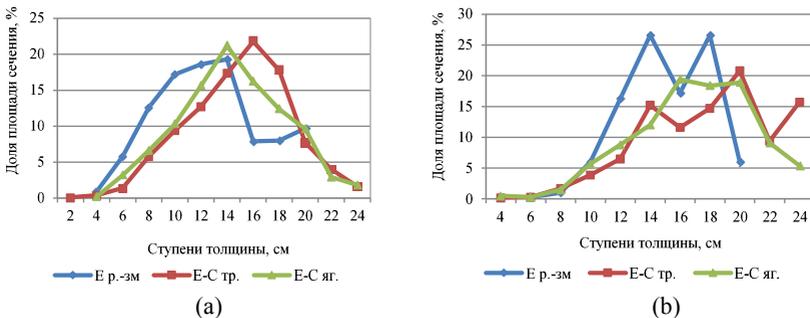


Рис. 4. Распределение площади сечения по ступеням толщины в культурах ели европейской без изреживания (а) и с изреживанием (б)

Fig. 4. Distribution of trunk cross-sectional by thickness grades in European spruce forest cultures without thinning (a) and with thinning (b)

Общий запас древесины определяется морфометрическими показателями деревьев и их количеством, но при этом не всегда понятно, какое количество его представляют деревья с тем или иным диаметром. На рис. 5 и 6 представлен запас сырой древесины (в % от общего) по ступеням толщины ели сибирской и ели европейской. Доля запаса деловой древесины (ступень 16 см и выше) у ели сибирской в типе леса Е р.-зм. на секциях с изреживанием составляла 60,9%, в Е-С тр. – 54,1% и в Е-С яг. – 77,5%; у ели европейской – соответственно, 51,8%, 71,2% и 76,2%. Доля древесины в этих же ступенях толщины на секциях без изреживания у обоих видов елей была меньше в 1,5 и более раза.

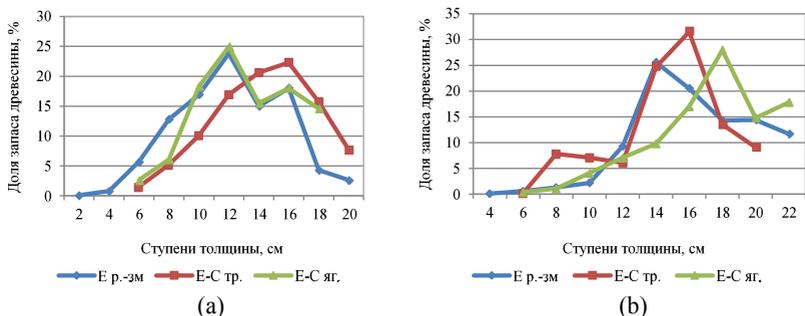


Рис. 5. Распределение запаса сырой древесины в культурах ели сибирской по ступеням толщины на секциях без изреживания (а) и с изреживанием (б)

Fig. 5. Distribution of raw wood volume in Siberian spruce forest cultures by thickness grades in sections without thinning (a) and with thinning (b)

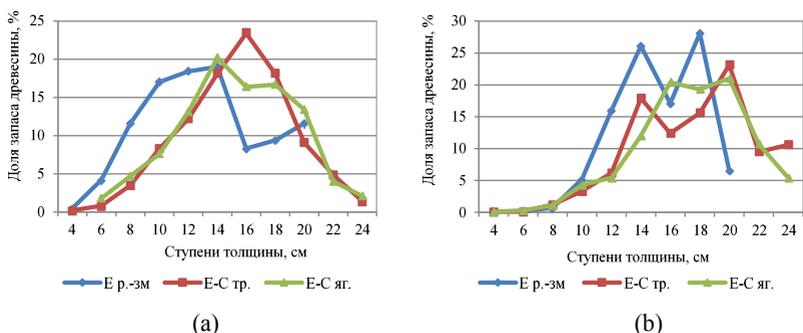


Рис. 6. Распределение запаса сырой древесины в культурах ели европейской по ступеням толщины без изреживания (а) и с изреживанием (б)

Fig. 6. Distribution of raw wood volume in European spruce forest cultures by thickness grades in sections without thinning (a) and with thinning (b)

Объем древесины среднего дерева ели сибирской на секции 2 по сравнению с секцией 1 в типе леса Е р.зм. был больше на 27%, в Е-С тр. – на 42 и в Е-С яг. – на 77%; у ели европейской – соответственно, на 14%, 59% и 50%. Установлено, что во всех типах леса объем древесины среднего дерева ели европейской больше, чем ели сибирской. Разница по запасу древесины между видами елей на секциях с изреживанием составляла 14–36%, на секциях без изреживания – 22–74%.

Таким образом, через 12 лет после второго приема рубок ухода, своевременно проведенного в культурах елей двух видов, значительно повыси-

лась качественная и количественная продуктивность искусственных насаждений, особенно на секциях с изреживанием елей в рядах, что подтверждается многими исследователями [Чибисов и др., 2011; Багаев, 2016; Антонов, Кузнецов, 2017; Багаев, Чудецкий, 2018; Сурина, Минин, 2023], но в основном в естественных насаждениях с участием ели. На секциях с изреживанием в рядах обоих видов, несмотря на небольшой срок после прочистки, существенно увеличилась доля деревьев елей выше среднего диаметра по насаждению. При одном и том же режиме выращивания ель европейская в 31-летних культурах имела лучшие морфометрические показатели, чем ель сибирская.

*Заключение.* Второй прием рубок ухода в конце первого класса возраста культур, направленный на сплошную вырубку естественных деревьев и изреживание в рядах обоих видов елей, существенно улучшил экологические условия, что положительно отразилось на приросте ствола по высоте и диаметру. Через 12 лет максимальный прирост ствола по высоте у обоих видов елей отмечен в Е р.-зм. (по микроповышениям) и Е-С тр. (по целине), минимальный – в Е-С яг. (по микропонижениям). У ели европейской во всех типах леса наиболее выражен рост ствола по высоте, но различие между видами елей по этому показателю достоверно лишь в типе леса Е р.-зм. на секциях без изреживания. По высоте 31-летние культуры обоих видов елей в типах леса Е р.-зм. и Е-С тр. на секциях с изреживанием соответствовали I классу бонитета, в Е-С яг. – II классу.

Количество деревьев выше средней ступени толщины на секциях с изреживанием у ели сибирской – от 33 до 55% (максимальное в Е-С яг.), у ели европейской – 36–46% (максимальное в Е-С тр.) от общего количества деревьев. Объем древесины среднего дерева ели сибирской на секциях с изреживанием по сравнению с секциями без изреживания в типе леса Е р.зм. был больше на 27%, в Е-С тр. – на 42% и в Е-С яг. – на 77%; у ели европейской – соответственно, на 14%, 59% и 50%. Установлено, что во всех типах леса площадь сечения и объем древесины среднего дерева ели европейской больше, чем ели сибирской. Ель европейскую наравне с елью сибирской можно успешно вводить в культуры в подзоне южнотаежных лесов Свердловской области.

*Сведения о финансировании* исследования. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Ботанический сад УрО РАН» №123112700125-1.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Антонов О.И., Кузнецов Е.Н. Совершенствование технологии комплексного ухода за лесом с целью повышения качественной продуктивности насаждений // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7, № 1 (25). С. 42–49. DOI: 12737/25191.

Багаев С.С. Рубки переформирования в березняках со вторым ярусом и подростом ели в Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2016. № 4. С. 84–92.

Багаев С.С., Чудецкий А.И. Результаты рубок ухода в лиственно-еловых насаждениях Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2018. № 1. С. 5–20.

Бобров Е.Г. Об интрогрессивной гибридизации и ее значении в эволюции растений // Ботанический журнал. 1980. Т. 65, № 8. С. 1065–1070.

Вараксин Г.С., Вайс А.А., Мулява В.Е. Рост еловых культур различного назначения в таежно-лесостепных условиях Красноярского края // Лесная таксация и лесоустройство. 2010. Вып. 2(44). С. 44–48.

Изюмский П.П. Таксация тонкомерного леса. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 88 с.

Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы леса Свердловской области: практическое руководство. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.

Мамаев С.А., Некрасов М.С. Изменчивость шишек ели в лесах Среднего Урала // Труды ИЭРиЖ АН СССР. 1968. Вып. 60. С. 55–70.

Морозов Г.П. Фенотипическая структура популяций ели обыкновенной и сибирской // Лесоведение. 1976. №5. С. 22–26.

Науменко А.М. *Picea obovata* Ledeb. на крайнем северо-восточном пределе своего ареала // Ботанический журнал. 1964. Т. 49, № 7. С. 1008–1013.

Пак К.А., Гаврилова О.И. Реконструкция лиственного молодняка с применением брикетированных семян // Успехи современного естествознания. 2017. №4. С. 47–53. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36433> (дата обращения: 31.08.2024).

Письмеров А.В., Варфоломеев В.Е., Веремьева С.С., Тяк А.В., Климчук В.С. Ускоренное выращивание елового баланса // Лесное хозяйство. 1980. № 4. С. 50–52.

Попов П.П. Изменчивость елей европейской и сибирской по основному диагностическому признаку // Актуальные вопросы и перспективы развития математических и естественных наук: сб. науч. трудов по итогам Междунар. науч.–практич. конференции. Т. 3. Омск, 2016. С. 49–53.

Попов П.П., Арефьев С.П., Казанцева М.Н. Фенотипическое разнообразие популяций ели некоторых особо охраняемых природных территорий на востоке Европы и в Сибири // Nature conservation research. Заповедная наука. 2019. № 4 (4). С. 26–33. DOI: 10.24189/ncr.2019.060

Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 176 с.

Рогозин М.В., Разин Г.С. Лесные культуры Теплоуховых в имении Строгановых на Урале: история, законы развития, селекция ели. Пермь, 2011. 192 с.

Серебряный Л.Р. Миграция ели на востоке и севере Европы в позднее и послеледниковое время // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 1974. № 41. С. 13–23.

Сурина Е.А., Минин Н.С. Эффективность рубок ухода в лиственно-еловых насаждениях в северной подзоне европейской части России // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 5. С. 103–114. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-103-114.

Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Пермякова Л.П. Влияние насекомых-конофагов на выход семян в шишках культур ели на Среднем Урале // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. Вып. 200. С. 160–172.

Терехов Г.Г., Андреева Е.М., Стеценко С.К. Динамика и структура возобновления лиственных пород после прочистки в культурах ели сибирской на Среднем Урале // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 18–28. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2022.3.02.

Харитонович Ф.Н. Биология и экология древесных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1968. 304 с.

Чибисов Г.А., Гуцин В.А., Фомин А.П., Захаров А.Ю. Лесоводственная и экономическая эффективность рубок ухода: практ. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск: САФУ, 2011. 108 с.

## References

Antonov O.I., Kuznetsov E.N. Improving the technology of complex care for forests with the aim of improving quality of productivity of plantations. *Forestry Engineering Journal*, 2017, iss.7, no. 1 (25), pp. 42–49. DOI: 12737/25191. (In Russ.)

Bagaev S.S. Reformation cuttings in birch forests with spruce second tier and undergrowth in the Kostroma region. *Forestry information*, 2016, no. 4, pp. 84–92. (In Russ.)

Bagaev S.S., Chudetsky A.I. Results of thinning in deciduous-and-spruce stands in the Kostroma region. *Forestry information*, 2018, no. 1, pp. 5–20. (In Russ.)

Bobrov E.G. On introgressive hybridization and its significance in plant evolution. *Botanicheskii Zhurnal*, 1980, iss. 65, no. 8, pp. 1065–1070. (In Russ.)

Chibisov G.A., Guchin V.A., Fomin A.P., Zaharov A.U. Silvicultural and Economic Efficiency of Thinning: a Practical Manual. 2nd ed., rev. and enl. Arkhangelsk, 2011. 108 p. (In Russ.)

Izumsky P.P. Taxation of small-sized forest. Moscow: Lesn. prom-st', 1972. 88 p. (In Russ.)

Kharitonovich F.N. Biology and ecology of tree species. Moscow: Lesn. prom-st', 1968. 304 p. (In Russ.)

Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. Forest-growing conditions and types of forest in the Sverdlovsk region: a practical guide. Sverdlovsk: USC USSR Academy of Sciences, 1973. 176 p. (In Russ.)

Мамаев С.А., Некрасов М.С. Variability of spruce cones in the forests of the Middle Urals. *Proceedings of the Institute of Plant and Animal Ecology of the USSR Academy of Sciences*, 1968, iss. 60, pp. 55–70. (In Russ.)

Морозов Г.П. Phenotypic structure of populations of Norway and Siberian spruce. *Lesovedenie*, 1976, no. 5, pp. 22–26. (In Russ.)

Науменко А.М. *Picea obovata* Ledeb. at the extreme north-eastern limit of its range. *Botanicheskii Zhurnal*, 1964, iss. 49, no. 7, pp. 1008–1013. (In Russ.)

Пак К.А., Гаврилова О.И. Reconstruction of young deciduous seedlings briquetted. *Advances in current natural sciences*, 2017, no. 4, pp. 47–53. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36433> (accessed August 31, 2024) (In Russ.)

Писеров А.В., Варфоломеев В.Е., Веремыева С.С., Тyak А.В., Климчук В.С. Accelerated cultivation of spruce pulpwood. *Forestry*, 1980, no. 4, pp. 50–52. (In Russ.)

Попов П.П. Variability of European and Siberian spruce by the main diagnostic feature. *Current issues and prospects for the development of mathematical and natural sciences: collection of scientific papers on the results of the international scientific and practical conference*. Omsk, 2016, iss. 3, pp. 49–53. (In Russ.)

Попов П.П., Арефьев С.П., Казантсева М.Н. Phenotypic diversity of spruce populations in some protected areas in Eastern Europe and Siberia. *Nature Conservation Research*, 2019, no. 4 (4), pp. 26–33. DOI: 10.24189/ncr.2019.060 (In Russ.)

Прavдин Л.Ф. European spruce and Siberian spruce in the USSR. Moscow: Nauka, 1975. 176 p. (In Russ.)

Рогозин М.В., Разин Г.С. Forest cultures of the Teploukhovs in the Stroganov estate in the Urals: history, laws of development, selection of spruce. Perm, 2011. 192 p. (In Russ.)

Серебряный Л.Р. Migration of spruce in the east and north of Europe in late and postglacial times. *Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period*, 1974, no. 41, pp. 13–23. (In Russ.)

Сурина Е.А., Минин Н.С. Efficiency of Thinning in Deciduous-Spruce Forest Stands in the Northern Taiga Forest Region of the European Part of the Russian Federation. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 5, pp. 103–114. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-103-114. (In Russ.)

Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Пермякова Л.П. Influence of seed-eating insects on seed production of european and siberian spruces in Middle Ural Mountains. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2012, iss. 200, pp. 160–172. (In Russ.)

Терехов Г.Г., Андреева Е.М., Стetsenko С.К. Development and structure the regeneration of broadleaved species after cleaning in siberian spruce cultures in the Middle Urals. *Forestry information*, 2022, no. 3, pp. 18–28. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.02. (In Russ.)

Вараксин Г.С., Ваис А.А., Мулжава В.Е. Growth of fur-tree cultures of different function in taezhno-foreststeppe conditions of Krasnoyarsk region. *Forest taxation and forest management*, 2010, iss. 2(44), pp. 44–48. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 16.09.2024

**Терехов Г.Г., Андреева Е.М., Стеценко С.К., Теринов Н.Н.** Рост сибирской и европейской елей в культурах после прочистки в разных типах леса на Среднем Урале // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 49–63. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.49-63

Цель работы – изучение текущего периодического прироста морфометрических показателей сибирской и европейской елей в культурах второго класса возраста после прочистки. Объектами исследований являлись участки культур елей сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) в ельнике разнотравно-зеленомошниковом (Е р.-зм.), ельнике-сосняке травяном (Е-С тр.) и ельнике-сосняке ягодниковом (Е-С яг.). Впервые в подзоне южнотаежных лесов Среднего Урала в трех типах леса сравнивается рост одновозрастных культур сибирской и европейской елей при выращивании на секциях с вырубкой всех естественных деревьев без изреживания елей в рядах и с изреживанием. За 12-летний период максимальный прирост ствола по высоте у обоих видов елей отмечен в типе леса Е р.-зм. (по микроповышениям) и в Е-С тр. (по целине), минимальный – в Е-С яг. (по микропонижениям). У ели европейской во всех типах леса наиболее выражен рост ствола по высоте, но различие с елью сибирской достоверно лишь в типе леса Е р.-зм. на секциях без изреживания. По высоте 31-летние культуры обоих видов елей в типах леса Е р.-зм. и Е-С тр. на секциях с изреживанием соответствовали I классу бонитета, в Е-С яг. – II классу. Периодический прирост ствола по диаметру у обоих видов елей был значительно больше на секциях с изреживанием. Количество деревьев выше средней ступени толщины на секциях с изреживанием у ели сибирской – от 33 до 55% (без изреживания – 20–42%), у ели европейской – 36–46% (30–41%) от общего количества деревьев. Объем древесины среднего дерева ели сибирской на секциях с изреживанием по сравнению с секциями без изреживания в типе леса Е р.-зм. был больше на 27%, в Е-С тр. – на 42% и в Е-С яг. – на 77%; у ели европейской – соответственно, на 14%, 59% и 50%. Установлено, что площадь сечения и объем древесины среднего дерева ели европейской во всех типах леса больше, чем ели сибирской. В условиях южнотаежных лесов Свердловской области ель европейскую можно успешно вводить в культуры наравне с елью сибирской.

Ключевые слова: культуры сибирской и европейской елей, прирост ствола, площадь сечения, запас древесины.

**Terekhov G.G., Andreeva E.M., Stetsenko S.K., Terinov N.N.** Siberian and European spruce growth in forest cultures after thinning in different forest types in the Middle Urals. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 49–63 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.49-63

The aim of the work is to study the periodic growth of morphometric parameters second-age class Siberian and European spruce forest cultures after clearing. The objects of the research were areas of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) and European spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forest cultures in forest types «spruce multiform grassy with green moss», «spruce-pine grassy» and «spruce-pine berry». For the first time in the southern taiga forests subzone on Middle Urals in three types of forest the growth of even-aged forest cultures of Siberian and European spruce is compared with the cutting of all self-seeding trees but without thinning forest cultures in rows and with thinning forest cultures in rows. Over a 12-year period the maximum trunk height growth for both tree spruce species was noted in the forest type «spruce multiform grassy with green moss» (on micro-raising) and «spruce-pine grassy» (on flat area), and the minimum one was noted in the forest type «spruce-pine berry» (on micro-depressions). In all forest types, the growth in trunk height is most pronounced in European spruce, but reliable differences with Siberian spruce are significant only in the forest type «spruce multiform grassy with green moss» in areas without thinning. The height of 31-year-old forest cultures of both spruce species in the forest types «spruce multiform grassy with green moss» and «spruce-pine grassy» in sections with thinning corresponded to the first capacity class, in the forest type «spruce-pine berry» – to the second capacity class. The periodic trunk diameter growth in both spruce species was significantly more in sections with thinning. The number of trees above the average diameter in sections with thinning in Siberian spruce is from 33 to 55% (without thinning – 20–42%), in European spruce – 36–46% (without thinning – 30–41%) of their total number. The volume of an average Siberian spruce tree wood in thinned sections compared to a section without thinning in the forest type «spruce multiform grassy with green moss» was 27% greater, in the forest type «spruce-pine grassy» – 42% greater, and in the forest type «spruce-pine berry» – 77% greater; for the European spruce, it was 14, 59, and 50% greater, respectively. It has been established that the cross-sectional area and volume of wood of an average tree of European spruce in all forest types are more than that of Siberian spruce. In the conditions of the southern taiga forests of the Sverdlovsk region, European spruce can be successfully introduced into forest cultures on a par with Siberian spruce.

**Keywords:** forest cultures of Siberian spruce and European spruce, trunk growth, trunk cross-sectional, wood volume.

---

**ТЕРЕХОВ Геннадий Григорьевич** – ведущий научный сотрудник Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 7077-7419. ORCID: 0000-0002-2312-9224. 620144, ул. 8 Марта, д. 202а, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: terehov\_g\_g@mail.ru

**TEREKHOV Gennady G.** – DSc (Agriculture), Leading researcher at the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. SPIN-code: 7077-7419. ORCID: 0000-0002-2312-9224.

620144, 8 Marta str. 202a. Yekaterinburg, Russia. E-mail: terekhov\_g\_g@mail.ru

**АНДРЕЕВА Елена Михайловна** – старший научный сотрудник Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук, кандидат биологических наук. SPIN-код: 9600-6149. ORCID: 0000-0003-2651-2541.

6620144, ул. 8 Марта, д. 202а, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: e\_m\_andreeva@mail.ru

**ANDREEVA Elena M.** – PhD (Biological), Senior researcher at the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. SPIN-code: 9600-6149. ORCID: 0000-0003-2651-2541.

620144, 8 Marta str. 202a. Yekaterinburg, Russia. E-mail: e\_m\_andreeva@mail.ru

**СТЕЦЕНКО Светлана Карленовна** – старший научный сотрудник Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук, кандидат биологических наук. SPIN-код: 2273-0080. ORCID: 0000-0002-4885-3817.

6620144, ул. 8 Марта, д. 202а, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: stets\_s@mail.ru

**STETSENKO Svetlana K.** – PhD (Biological), Senior researcher at the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. SPIN-code: 2273-0080. ORCID: 0000-0002-4885-3817.

620144, 8 Marta str. 202a. Yekaterinburg, Russia. E-mail: stets\_s@mail.ru

**ТЕРИНОВ Николай Николаевич** – ведущий научный сотрудник Ботанического сада Уральского отделения Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 4882-9481. ORCID: 0000-0001-5936-208X.

6620144, ул. 8 Марта, д. 202а, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: n\_n\_terinov@mail.ru

**TERINOV Nikolay N.** – DSc (Agriculture), Leading researcher at the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. SPIN-code: 4882-9481. ORCID: 0000-0001-5936-208X 620144.

620144, 8 Marta str. 202a. Yekaterinburg, Russia. E-mail: n\_n\_terinov@mail.ru

**Р.Ю. Колобов, Я.Б. Дицевич, О.И. Григорьева**

**ЛЕСА КАК ОБЪЕКТЫ ОХРАНЫ  
СИСТЕМЫ ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ  
БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ)**

*Введение.* Значение лесов для жизни человека и существования планеты Земля такой, какой мы ее знаем, трудно переоценить. Поглощение углекислого газа и выделение кислорода – не единственное проявление такого значения. Леса поддерживают высокий уровень биоразнообразия на нашей планете [Pillay et al., 2022] и издревле обеспечивают человека целым спектром важнейших продуктов и материалов.

Еще одна важнейшая функция лесов состоит в обеспечении стабильности других, прежде всего, водных, экосистем. Эта связь была обнаружена человеком еще в древности, а первым нормативным актом, учитывающим эту связь, считается ордонанс короля Франции Филиппа Августа «О водах и лесах» 1219 г. [Andreassian, 2004] Усиление внимания научного сообщества и проведение исследований в соответствии со строгой научной методологией относится ко второй половине XX века, когда были поставлены эксперименты по влиянию склонов разной лесистости на состояние водоемов [Andreassian, 2004].

В современной науке констатируется наличие разноплановых связей между состояниями водоемов и лесных экосистем [Bredesen et al., 2002; Vesu et al., 2023], которые, несмотря на приложение значительных усилий представителями наук естественного цикла, еще остаются не до конца выявленными и понятиями [Hibbert, 1967; France, 2011]. Такое положение вещей не является чем-то необычным в вопросах охраны окружающей среды, поскольку закономерности развития естественных экосистем только выявляются человеком. Юридическим отражением указанных пробелов в знании человека об устройстве природы является принцип предосторожности, находящийся в российском правовом порядке закрепление в ст. 3 Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 года №7-ФЗ.

Охрана лесов приобретает особо острую общественную значимость, когда речь заходит об уникальных природных объектах мирового значения.

Россию можно без преувеличения назвать «лесной» страной, поскольку на территории нашей страны расположено около 22% мировой площади лесов и более половины мировых запасов хвойных лесов [Newell, Simeone, 2014]. Среди них как древние девственные леса, так и леса, служащие центральным элементом, обеспечивающим стабильность экологического состояния других уникальных экосистем. К их числу, несомненно, относится озеро Байкал, о необходимости сохранения и восстановления лесов вокруг акватории которого неоднократно высказывался Комитет всемирного наследия в своих решениях [Байкал..., 2023]. Во многом по этим причинам вопросы режима охраны лесов вокруг Байкала вызвали такой широкий общественный резонанс в 2023 г. в связи с рассмотрением Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации законопроекта № 387575-8, предполагающего ослабление общего запрета на проведение сплошных рубок лесных насаждений в границах центральной экологической зоны Байкальской природной территории (далее – ЦЭЗ БПТ), границы которой практически полностью совпадают с границами объекта всемирного природного наследия «Озеро Байкал» [Баланс..., 2023; Дицевич, 2023].

Осознание существующих взаимосвязей между лесными и озерными экосистемами, а также принятие в расчет наличия их невыявленных взаимозависимостей не могло не вызвать озабоченность научного сообщества, призывавшего к проведению строгой оценки последствий предлагаемых мер и обстоятельному рассмотрению альтернатив предлагаемым изменениям законодательства. Приведенный пример представляет собой одну из наиболее острых ситуаций, связанных с согласованием интересов социально-экономического развития и охраны природы. Вместе с тем, уникальные лесные экосистемы по всему миру подвергаются изменениям, связанным с активной деятельностью человека. Из пятнадцати объектов всемирного природного наследия, внесенных в Список всемирного наследия, находящегося под угрозой [World Heritage List, 2024], большая часть представляет собой именно лесные экосистемы. Среди них – девственные влажно-тропические леса Суматры (Индонезия) и влажные тропические леса Атсинананы (Мадагаскар).

Описанная проблематика определяет необходимость мобилизации усилий представителей различных отраслей знания, в том числе и юридической науки, в целях выработки мер по сохранению и обеспечению устойчивого использования лесов. Такие меры могут реализовываться в рамках национальных правовых порядков или иметь международно-правовое происхождение. По ряду причин существующий потенциал международ-

но-правовой охраны лесов на настоящий момент значительно ограничен. Политико-экономические причины обусловили отсутствие универсальных международных договоров по вопросам охраны лесов, в связи с чем регламентация этих процессов в наднациональных масштабах протекает в основном в секторе мягкого международного права.

Но мы полагаем, что даже существующий инструментарий используется недостаточно, и в международной нормативной системе существует значительный потенциал для усиления охраны лесов. Подобный пример дает система охраны всемирного наследия, сформировавшаяся после принятия в 1972 г. одноименной Конвенции [Конвенция, 1972]. Выявление такого потенциала в указанной системе и составляет цель настоящего исследования. Для ее достижения будет представлена общая структура системы охраны всемирного наследия, выявлены некоторые типичные проблемы охраны лесов на объектах всемирного наследия, а также определены перспективные юридические формы, способные усилить охрану уникальных природных объектов.

Система охраны всемирного наследия на институциональном уровне представлена Межправительственным комитетом по охране всемирного культурного и природного наследия (далее – Комитет всемирного наследия, Комитет), его консультативными органами (в отношении объектов всемирного природного наследия такие функции выполняет Международный союз охраны природы, далее – МСОП), а также Секретариатом, функции которого с 1992 г. выполняет Центр всемирного наследия (далее – Центр). Нормативная часть этой системы представлена, прежде всего, Конвенцией, а также Руководством по ее выполнению [The Operational..., 2024] (далее – Руководство). Инструментальная часть системы охраны всемирного наследия сформирована различными проявлениями т.н. «листинга» (англ. listing, включение в список): к ним относится Список всемирного наследия (далее – Список), Список всемирного наследия, находящегося под угрозой, и предварительные списки<sup>1</sup>.

*Материалы и методика исследования.* Методологическую основу исследования образует широкий спектр различных общих и специальных методов. Выполнение настоящей работы предполагает использование, прежде всего, методов анализа и синтеза. В ходе научного исследования будут

---

<sup>1</sup> В целях настоящего исследования, носящего прикладной характер, система охраны всемирного наследия несколько упрощена, ее развернутый анализ будет представлен в отдельной статье.

использованы традиционные для юридической науки методы – конкретно-исторический, формально-логический и сравнительно-правовой, давно применяющиеся в научных исследованиях по юриспруденции и хорошо себя зарекомендовавшие.

*Результаты исследования.* По примерным оценкам площадь лесов на объектах всемирного наследия составляет 69 млн га [UNESCO..., 2024]. Эти объекты расположены на разных континентах и представлены разнообразной лесной растительностью на территориях государств со значительно отличающимися социально-экономическими условиями. Так, в числе наиболее известных объектов в Европе выделяются древние и первобытные леса Карпат и других регионов Европы, а также Беловежский лес<sup>2</sup>. В России находятся объекты «Девственные леса Коми», «Западный Кавказ» и «Центральный Сихотэ-Алинь», значительную часть которых составляют уникальные лесные экосистемы. В настоящей статье уже отмечалась особая роль лесов в обеспечении стабильности экологического состояния Байкала. Признание такой роли лесных массивов выражается и в упомянутом установлении границ озера как объекта всемирного наследия на значительном удалении от самой акватории. Практически все объекты, расположенные в Южной и Центральной Америке, являются лесными насаждениями [Колобов, Дицевич, 2023]. Значительные площади лесов в Северной Америке относятся к канадским объектам всемирного наследия [Колобов и др., 2022]. Ввиду существующих различий природно-климатического, географического, социально-экономического и организационно-правового характера строгая систематизация угроз, которым подвергаются лесные экосистемы на территориях объектов всемирного наследия, затруднительна<sup>3</sup>. К их числу относятся разработка месторождений полезных ископаемых, характерная как для развитых, так и для развивающихся стран, осуществление лесозаготовок, браконьерство в лесах и многие другие проблемы экологического и социально-экономического характера.

Как отмечалось ранее в настоящей статье, большая часть нормативного элемента системы охраны всемирного наследия относится к сектору международного мягкого права. Однако указанная «мягкость» вовсе не является

---

<sup>2</sup> Оба объекта расположены на территории более чем одного государства. Первый представляет собой транснациональный серийный объект, расположенный на территориях восемнадцати стран, второй является трансграничным объектом, расположенным на территориях Белоруссии и Польши.

<sup>3</sup> Объединяет эти угрозы в основном одно обстоятельство: большинство из них носит антропогенный характер.

синонимом неэффективности. Правила, действующие в международной нормативной системе, отличаются известным своеобразием и при их анализе необходимо избегать упрощенных аналогий с механизмами национальных правовых систем. Те сферы международных отношений, в которых не созрели условия для принятия международных договоров, либо в которых их существование нецелесообразно, склонны к заполнению правилами мягкого права. Они, в свою очередь, входят во взаимодействие с целым комплексом иных регуляторов как юридического, так и неюридического свойства.

В настоящей момент в системе охраны всемирного наследия сложилась категоричная позиция о недопустимости осуществления двух видов экономической деятельности, влияющей на состояние объекта всемирного наследия; в обоих случаях она выражена словосочетанием о несовместимости такой деятельности со статусом объекта всемирного наследия. Первая касается разработки месторождений полезных ископаемых в границах объектов всемирного наследия и в непосредственной близости от них (а равно изменения границ объектов в целях допущения такой деятельности), вторая – строительства крупных плотин гидроэлектростанций на территориях объектов, внесенных в Список. Формирование первого подхода прошло определенную эволюцию, начиная с выражения озабоченности МСОП этим вопросом в 1999 г. [World Commission..., 2024], которое затем было поддержано компаниями-лидерами в добывающей индустрии, объединенными в Международный совет по горному делу и металлам, принявшими в 2003 г. добровольное обязательство не осуществлять проекты добывающей промышленности на объектах всемирного наследия [Affolder, 2009]. Начиная с 2007 г. эта позиция совета регулярно упоминалась Комитетом в решениях, посвященных анализу состояния сохранности объектов, а затем приняла форму устоявшейся позиции Комитета.

Второй вид деятельности, в отношении которого в системе охраны всемирного наследия сложилось категорично выраженное отрицательное отношение – это строительство крупных плотин гидроэлектростанций. Формирование этого запрета проходило, скорее, «в обратном направлении»: вначале происходило накопление озабоченности в решениях Комитета, а затем мировые лидеры в отрасли гидроэнергетики подтвердили этот подход в Декларации об устойчивой гидроэнергетике (Декларация Сан-Хосе) [Декларация..., 2024].

Мы полагаем, что проблематика охраны лесов и обеспечения устойчивого лесопользования на объектах всемирного наследия заслуживает того, чтобы сформировать еще одну позицию либо комплекс позиций, выражен-

ных в категорической модальности. Выработка ее содержания должна осуществляться с привлечением специалистов в области лесоводства, экономики, юриспруденции и иных отраслей науки. В качестве рабочих вариантов ее содержания может обсуждаться, прежде всего, несовместимость сплошных рубок лесных насаждений со статусом объекта всемирного наследия. При этом заготовка древесины в коммерческих целях, по нашему мнению, должна исключаться полностью.

Вопрос о так называемых санитарных рубках должен быть обсужден отдельно применительно к разным географическим регионам с учетом разнообразных экономико-политических факторов и новейших достижений науки. В специализированных исследованиях представлены различные подходы к вопросам допустимости осуществления такого рода вмешательств в лесные экосистемы и их пределам. К примеру, представлены сведения, обосновывающие эффективность проведения таких мероприятий для снижения гибели ели обыкновенной от жизнедеятельности большого елового кородея [Miscicki, Grodzki, 2021]. С другой стороны, представлены не менее убедительные исследования, свидетельствующие о значительном негативном влиянии на состояние биоразнообразия в результате проведения санитарных рубок, в особенности в отношении сапроксильных организмов [Thorn et al., 2018]. Равным образом отмечается и роль погибших или больных деревьев в обеспечении сохранения среды обитания и непосредственного существования различных видов объектов животного мира, например, для питания дятлов [Lindenmayer, Noss, 2006], рысей и куниц-рыболовов [Bull et al., 2001]. Таким образом, принятие решения о проведении санитарных рубок в уникальных экосистемах должно быть обосновано научными исследованиями, проведенными в соответствии с передовыми научными стандартами. При этом нельзя не вспомнить и тот факт, что в современных российских реалиях санитарные рубки зачастую назначались без наличия на то достаточных оснований с целью незаконной реализации ценных пород древесины [Экс-министр..., 2024].

Потребность в принятии оперативных мер по обеспечению сохранности лесов обуславливает и необходимость ускорения выработки позиции системы охраны всемирного наследия по этим вопросам. По этим причинам необходимо придание импульса разработке этой тематики, и Российская Федерация может занять лидирующие позиции в данном процессе. С одной стороны, как уже было отмечено, наша страна обладает огромными лесными запасами, с другой – является активным участником системы охраны всемирного наследия и трижды входила в состав Комитета всемирного наследия.

Таким импульсом может послужить проведение международного экспертного семинара по проблемам охраны лесов на объектах всемирного наследия. Подчеркнуть важность экосистемной роли лесов поможет инициирование проведения подобного мероприятия в Байкальском регионе, вблизи всемирно известного озера Байкал, состояние которого интегрально зависит от состояния окружающих его лесов. Согласно устоявшейся практике результаты таких семинаров получают поддержку Комитета в его решениях, тем самым перемещаясь из наиболее слабой части спектра международного мягкого права в его самую сильную часть, поскольку Комитет представляет собой конвенционный орган, решения которого проистекают из норм «строгого» международного права. Одна из центральных ролей в этой области должна принадлежать профильному сектору промышленности – лесозаготовительным предприятиям, консенсусная позиция которых должна быть выражена в декларации об охране лесов на объектах всемирного наследия. В предлагаемом формате проведения указанного научно-практического собрания она может именоваться «Байкальской лесной хартией». Данное мероприятие будет соответствовать современной климатической повестке и отражать усилия нашей страны по достижению климатической нейтральности.

Еще одно необходимое направление усиления охраны лесов, содействие которому может система охраны всемирного наследия, состоит в разработке технических рекомендаций по охране лесов и устойчивому лесопользованию на объектах всемирного наследия. Центральную роль в этих процессах должен играть Международный союз охраны природы при поддержке ведущих научных организаций мира в области лесоводства. К их числу относятся, в частности, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук и др. В условиях недостаточности финансирования деятельности структур ЮНЕСКО разработка такого руководства может поддерживаться правительствами государств, как это имело место, например, с Методическим руководством по проведению оценки воздействия на объекты всемирного наследия, подготовленным при финансовой поддержке Министерства климата и окружающей среды Норвегии [Guidance and Toolkit..., 2024]. Мы полагаем, что в интересах Российской Федерации необходимо организовать подготовку такого документа, обеспечив взаимодействие широкого круга заинтересованных лиц. Практика изучения и открытого обсуждения в 2022–2024 гг. ряда законопроектов, содержащих существенные измене-

ния так называемого байкальского законодательства в сфере лесопользования на территории ЦЭЗ БПТ [Баланс..., 2023], показала недооцененность некоторых существующих в российском законодательстве способов ухода за лесами. К примеру, предусмотренный действующими нормативными правовыми актами институт уборки неликвидной древесины не получил должного анализа в качестве альтернативы сплошным санитарным рубкам в ЦЭЗ БПТ, предлагаемым вышеупомянутыми законопроектами, внесенными на рассмотрение в Государственную Думу Федерального Собрания Российской Федерации. Обобщение мирового опыта охраны и использования лесов авторитетным консультативным органом окажет существенное содействие в поиске альтернатив сплошным рубкам лесных насаждений на территории объектов всемирного природного наследия.

*Обсуждение.* Еще одним важнейшим направлением деятельности консультативных органов может стать создание специализированных методических руководств по оценке воздействия на окружающую среду (далее – ОВОС). Как известно, в 2022 г. было принято новое общее Методическое руководство по осуществлению ОВОС на объектах всемирного наследия. Оно явилось важным шагом в укреплении системы оценки воздействия на окружающую среду, однако мы полагаем, что специфика различных типов объектов всемирного наследия требует разработки специализированных подходов, в частности, в отношении лесных экосистем.

Наряду с рассмотренными ранее основными направлениями использования потенциала системы охраны всемирного наследия на ее международном уровне, режим охраны всемирного наследия имеет и национальную составляющую. Подавляющее число положений Конвенции носит несамоисполняемый характер, в связи с чем их реализация происходит в национальных порядках. В России, как известно, отсутствует комплексное нормативно-правовое закрепление особенностей охраны объектов всемирного природного наследия, несмотря на то, что Комитет обращался к Российской Федерации с просьбой обеспечить его принятие [Decision..., 2024].

*Заключение.* Законодательное закрепление режима охраны всемирного природного наследия позволит внедрить в российскую правовую систему и природоохранную практику стандарты всемирного наследия, в том числе, в области охраны лесов. В соответствии с отстаиваемым нами подходом, оптимальным способом законодательного закрепления режима охраны всемирного наследия является внесение дополнений в Федеральный

закон «Об особо охраняемых природных территориях» в виде отдельного раздела «Международно-правовые режимы охраны природных комплексов и объектов». В нем, в частности, должны получить отражение особенности правового режима охраны всемирного природного наследия. Прежде всего, необходимо закрепление требований о подготовке плана управления объектом всемирного наследия, который, в том числе, будет предусматривать осуществление различных мероприятий по охране лесов.

Необходимым элементом предлагаемого режима должно стать и требование о проведении оценки воздействия на выдающуюся универсальную ценность объекта любых законодательных изменений. Отсутствие таких требований привело к ситуации, когда такие серьезные меры, как планируемое разрешение сплошных рубок в границах ЦЭЗ БПТ, не сопровождаются развернутой оценкой воздействия на окружающую среду.

Наряду с комплексом вышеперечисленных и иных мероприятий значимым является решение организационных вопросов с целью централизации в одном ведомстве полномочий в сфере охраны и рационального использования лесов, например, посредством создания на федеральном уровне независимого специализированного ведомства (предположительно – министерства лесного комплекса), уполномоченного на осуществление вышеуказанных функций, в настоящее время рассредоточенных между несколькими десятками ведомств.

Проведенное исследование показывает, что механизмы системы охраны всемирного наследия обладают значительным потенциалом по использованию передового мирового опыта в сфере охраны лесных экосистем. Внедрение такого опыта в отношении объектов, внесенных в Список всемирного наследия, послужит импульсом для совершенствования всего массива лесного законодательства. Органичное взаимодействие национального и международного регулирования позволит обеспечить сохранение уникальных творений природы и обеспечить выполнение международных обязательств Российской Федерации.

*Вклад авторов.* Р.Ю. Колобов – юридический анализ и формулирование предложений по итогам исследования; Я.Б. Дицевич – сбор, обобщение и анализ эмпирического материала по теме исследования, проведение опроса специалистов относительно предложений по итогам исследования; О.И. Григорьева – подбор и анализ отечественной и зарубежной научной литературы по теме исследования.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено в рамках исполнения государственного задания РАН № 125013001144-6.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Байкал в решениях Комитета всемирного наследия / авт. вступ. ст. и науч. ред. пер. Р. Ю. Колобов; пер. с англ.: Н.Н. Ефимова, Е. А. Федина. Иркутск: Издательство ИГУ, 2023. 114 с.

Баланс экологических и социальных интересов на Байкальской природной территории: пути достижения: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 2023. 176 с.

Декларация Сан-Хосе об устойчивой гидроэнергетике. URL: [https://assets-global.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2712ae\\_San\\_Jos%C3%A9\\_Declaration\\_Consultation\\_20210924\\_RUS.pdf](https://assets-global.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2712ae_San_Jos%C3%A9_Declaration_Consultation_20210924_RUS.pdf) (дата обращения: 01.02.2024).

Дицевич Я.Б. Современные проблемы развития законодательства об охране озера Байкал // Академический юридический журнал. 2023. Т. 24, № 4. С. 492–499. DOI 10.17150/1819-0928.2023.24(4).

Колобов Р.Ю., Ганева Е.О., Холмогорова Е.Н., Макаренко Е.К. Практика охраны объектов всемирного природного наследия в Канаде // Международное право и международные организации. 2022. № 3. С. 1–14.

Колобов Р.Ю., Дицевич Я.Б. Охрана озера Байкал в контексте латиноамериканского опыта сохранения объектов всемирного наследия // Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения. 2023. № 3. С. 90–102.

Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия (заключена в г. Париже 16.11.1972) // Сборник международных договоров СССР. 1990. Вып. XLIV. С. 496–506.

Экс-министр лесного комплекса Приангарья Сергей Шeverда осужден на шесть с половиной лет. URL: [kommersant.ru/doc/5356536](https://kommersant.ru/doc/5356536) (дата обращения: 02.02.2024).

Affolder N.A. The Private Life of Environmental Treaties // The American Journal of International Law. 2009. Vol. 103, № 3. P. 510–525.

Andreassian V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate // Journal of Hydrology. 2004. Vol. 291, no. 1-2. P. 1–27.

Becu M.H.J., Michalski T.A., Richardson J.S. The influence of stream tributaries to lakes and upstream forest harvest on benthic, lake delta communities // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2023. Vol. 80. P. 487–502.

Bredesen E.L., Bos D.G., Laird K.R., Cumming B.F. Cladoceran-based paleolimnological assessment of the impact of forest harvesting on four lakes from the central interior of British Columbia, Canada // Journal of Paleolimnology. 2002. Vol. 28. P. 389–402.

Bull E.L., Aubry K.B., Wales B.C. Effects of Disturbance on Forest Carnivores of Conservation Concern in Eastern Oregon and Washington // Northwest Science. 2001. Vol. 75. P. 180–184.

Decision 36 COM 7B.24 Virgin Komi Forests (Russian Federation) (N 719) URL: <https://whc.unesco.org/en/decisions/4673> (дата обращения: 01.02.2024).

France R.L. Profundal-Pelagic Macrocrustacean Abundance in Boreal Lakes Before and After Experimental Clearcut Logging // Environmental Research, Engineering and Management. 2011. No. 2. P. 5–10.

Guidance and Toolkit for Impact Assessments in a World Heritage Context. URL: <https://whc.unesco.org/document/195279> (дата обращения: 01.02.2024).

Hibbert A.R. Forest treatment effects on water yield // Forest hydrology: proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar. 1967. P. 527–543.

Lindenmayer D., Noss R. Salvage Logging, Ecosystem Processes, and Biodiversity Conservation // Conservation Biology. 2006. Vol. 20, no. 4. P. 949–958.

Miscicki S., Grodzki W. Can sanitation cutting contribute to reduced mortality of Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst., due to infestation by *Ips typographus* (L.)? // Sylwan. 2021. Vol. 165, no. 11. P. 749–762.

Newell J.P., Simeone J. Russia's forests in a global economy: how consumption drives environmental change // Eurasian Geography and Economics. 2014. Vol. 55, no. 1. P. 37–70.

The Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. URL: <https://whc.unesco.org/en/guidelines/> (дата обращения: 01.02.2024)

Pillay R., Venter M., Aragon-Osejo J., Gonzalez-del-Pliego P., Hansen A.J., Watson J.E., Venter O. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species // Frontiers in Ecology and the Environment. 2022. Vol. 20, no. 1. P. 10–15.

Thorn S., Bäessler C., Brandt R., Burton P.J., Cahall R., Campbell J.L., Castro J., Choi C.-Y., Cobb T., Donato D.C., Durska E., Fontaine J.B., Gauthier S., Hebert C., Hothorn T., Hutto R.L., Lee E.-J., Leverkus A.B., Lindenmayer D.B., Obrist M.K., Rost J., Seibold S., Seidl R., Thom D., Waldron K., Wermelinger B., Winter M.-B., Zmihorski M., Müller J. Impacts of salvage logging on biodiversity: A meta-analysis // Journal of applied ecology. 2018. Vol. 55. P. 279–289.

UNESCO World Heritage Forests. URL: <https://whc.unesco.org/en/forests> (дата обращения: 01.02.2024)

World Commission on Protected Areas (WCPA) Position Statement on Mining and Associated Activities in Relation to Protected Areas. URL: <https://whc.unesco.org/archive/1999/whc-99-conf209-20e.pdf> (дата обращения: 01.02.2024).

World Heritage List. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/?danger=1&type=natural> (дата обращения: 01.02.2024).

## References

Affolder N.A. The Private Life of Environmental Treaties. *The American Journal of International Law*, 2009, vol. 103, no. 3, pp. 510–525.

Andreassian V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, 2004, vol. 291, no. 1–2, pp. 1–27.

Baikal in the decisions of the World Heritage Committee / author. introductory article and scientific ed. by R. Y. Kolobov; translated from English: N.N. Efimova, E. A. Fedina. Irkutsk: IGU Publishing House, 2023. 114 p. (In Russ.)

Balance of environmental and social interests in the Baikal natural territory: ways to achieve: collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Irkutsk, 2023. 176 p. (In Russ.)

Becu M.H.J., Michalski T.A., Richardson J.S. The influence of stream tributaries to lakes and upstream forest harvest on benthic, lake delta communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2023, vol. 80, pp. 487–502.

Bredesen E.L., Bos D.G., Laird K.R., Cumming B.F. Cladoceran-based paleolimnological assessment of the impact of forest harvesting on four lakes from the central interior of British Columbia, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 2002, vol. 28, pp. 389–402.

Bull E.L., Aubry K.B., Wales B.C. Effects of Disturbance on Forest Carnivores of Conservation Concern in Eastern Oregon and Washington. *Northwest Science*, 2001, vol. 75, pp. 180–184.

Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (concluded in Paris 16.11.1972). *Collection of International Treaties of the USSR*, 1990, vol. XLIV, pp. 496–506. (In Russ.)

Decision 36 COM 7B.24 Virgin Komi Forests (Russian Federation) (N 719) URL: <https://whc.unesco.org/en/decisions/4673> (accessed February 01, 2024).

Ditsevich Ya.B. Modern problems of the development of legislation on the protection of Lake Baikal. *Academic Law Journal*, 2023, vol. 24, no. 4, pp. 492–499. DOI 10.17150/1819-0928.2023.24(4). (In Russ.)

The ex-minister of forestry complex of Priangarie Sergey Sheverda has been sentenced to six and a half years. URL: [kommersant.ru/doc/5356536](http://kommersant.ru/doc/5356536) (accessed February 02, 2024). (In Russ.)

France R.L. Profundal-Pelagic Macrocrustacean Abundance in Boreal Lakes Before and After Experimental Clearcut Logging. *Environmental Research, Engineering and Management*, 2011. no. 2, pp. 5–10.

Guidance and Toolkit for Impact Assessments in a World Heritage Context. URL: <https://whc.unesco.org/document/195279> (accessed February 01, 2024).

Hibbert A.R. Forest treatment effects on water yield. *Forest hydrology: proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar*, 1967, pp. 527–543.

Kolobov R.Yu., Ditsevich Ya.B. Protection of Lake Baikal in the context of the Latin American experience of preserving World Heritage sites. *Journal of Foreign Legislation and Comparative Jurisprudence*, 2023, no. 3, pp. 90–102. (In Russ.)

Kolobov R.Yu., Ganeva E.O., Kholmogorova E.N., Makarenko E.K. The practice of protecting World Natural Heritage sites in Canada. *International law and international organizations*, 2022, no. 3, pp. 1–14. (In Russ.)

Lindenmayer D., Noss R. Salvage Logging, Ecosystem Processes, and Biodiversity Conservation. *Conservation Biology*, 2006, vol. 20, no. 4, pp. 949–958.

Miscicki S., Grodzki W. Can sanitation cutting contribute to reduced mortality of Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst., due to infestation by *Ips typographus* (L.)? *Sylwan*, 2021, vol. 165, no. 11, pp. 749–762.

Newell J.P., Simeone J. Russia's forests in a global economy: how consumption drives environmental change. *Eurasian Geography and Economics*, 2014, vol. 55, no. 1, pp. 37–70.

The Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. URL: <https://whc.unesco.org/en/guidelines/> (accessed February 01, 2024).

Pillay R., Venter M., Aragon-Osejo J., Gonzalez-del-Pliego P., Hansen A.J., Watson J.E., Venter O. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2022, vol. 20, no. 1, pp. 10–15.

San-Jose Declaration on Sustainable Hydropower. URL: [https://assets-global.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2712ae\\_San\\_Jos%C3%A9\\_Declaration\\_Consultation\\_20210924\\_RUS.pdf](https://assets-global.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2712ae_San_Jos%C3%A9_Declaration_Consultation_20210924_RUS.pdf) (accessed February 01, 2024). (In Russ.)

Thorn S., Bässler C., Brandl R., Burton P.J., Cahall R., Campbell J.L., Castro J., Choi C.-Y., Cobb T., Donato D.C., Durska E., Fontaine J.B., Gauthier S., Hebert C., Hothorn T., Hutto R.L., Lee E.-J., Leverkus A.B., Lindenmayer D.B., Obrist M.K., Rost J., Seibold S., Seidl R., Thom D., Waldron K., Wermelinger B., Winter M.-B., Zmihorski M., Müller J. Impacts of salvage logging on biodiversity: A meta-analysis. *Journal of applied ecology*, 2018, vol. 55, pp. 279–289.

UNESCO World Heritage Forests. URL: <https://whc.unesco.org/en/forests> (accessed February 01, 2024).

World Commission on Protected Areas (WCPA) Position Statement on Mining and Associated Activities in Relation to Protected Areas. URL: <https://whc.unesco.org/archive/1999/whc-99-conf209-20e.pdf> (accessed February 01, 2024).

World Heritage List. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/?danger=1&type=natural> (accessed February 01, 2024).

*Материал поступил в редакцию 17.03.2024*

---

**Колобов Р.Ю., Дицевич Я.Б., Григорьева О.И.** Леса как объекты охраны системы всемирного наследия (на примере центральной экологической зоны Байкальской природной территории) // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 64–78. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.64-78*

Констатируется важная роль лесов для сохранения биоразнообразия и поддержания стабильности других экосистем. Обосновывается актуальность проблематики охраны лесов на объектах всемирного наследия по причинам необходимости обеспечения устойчивого социально-экономического развития территорий. Системно аргументируется состоятельность гипотезы о наличии значительного потенциала системы охраны всемирного наследия для усиления режимов правовой охраны лесов в России и других странах. Формулируются предложения о необходимости выработки категоричной позиции Комитета

всемирного наследия по вопросам использования и охраны лесов. Необходимым шагом к ее разработке должны являться экспертные мероприятия, проводимые под эгидой органов системы охраны всемирного наследия. Обосновывается целесообразность проведения таких мероприятий в Российской Федерации на территории объекта всемирного наследия «Озеро Байкал». Констатируется необходимость выработки консолидированной позиции по вопросам коммерческой заготовки древесины и осуществления санитарных рубок на объектах всемирного наследия. Предлагаются пути совершенствования охраны лесов различными средствами, среди которых выделяется необходимость разработки на международном уровне методических рекомендаций об устойчивых практиках лесопользования на объектах всемирного наследия, а также специализированных методических руководств о проведении оценки воздействия на окружающую среду при осуществлении различных видов лесопользования.

**Ключевые слова:** лес, всемирное наследие, Комитет всемирного наследия, сплошные рубки, санитарные рубки.

**Kolobov R.Yu., Ditsevich Ya.B., Grigorieva O.I.** Forests as objects of protection of the World Heritage System (on the example of the central ecological zone of the Baikal natural territory). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 64–78 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.64-78

The important role of forests for the conservation of biodiversity and maintaining the stability of other ecosystems is stated. The relevance of the problems of forest protection at World Heritage sites is substantiated for reasons of the need to ensure sustainable socio-economic development of territories. The consistency of the hypothesis of the existence of a significant potential of the world Heritage protection system for strengthening the legal protection regimes of forests in Russia and other countries is systematically argued. Proposals are formulated on the need to develop a categorical position of the World Heritage Committee on the use and protection of forests. Expert events conducted under the auspices of the world Heritage protection system bodies should be a necessary step towards its development. The expediency of holding such events in the Russian Federation on the territory of the World Heritage site «Lake Baikal» is substantiated. It is stated that it is necessary to develop a consolidated position on commercial timber harvesting and sanitary logging at World Heritage sites. The ways to improve forest protection by various means are proposed, among which the need to develop methodological recommendations at the international level on sustainable forest management practices at World Heritage sites, as well as specialized methodological guidelines on environmental impact assessment in the implementation of various types of forest management is highlighted.

**Key words:** forest, world heritage, World Heritage Committee, solid logging, sanitary logging.

**ДИЦЕВИЧ Ярослава Борисовна** – ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук», кандидат юридических наук, доцент. ORCID: 0000-0002-4004-8581.

664033, ул. Фаворского, д. 1, г. Иркутск, Россия. E-mail: yaroslavadi@mail.ru

**DICEVICH Yaroslava B.** – PhD (Juridical), Leading Researcher at Federal Research Centre «Irkutsk Institute of Chemistry named after A.E. Favorsky of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Associate Professor. ORCID: 0000-0002-4004-8581.

664033. Favorsky str. 1. Irkutsk. Russia. E-mail: yaroslavadi@mail.ru

**КОЛОБОВ Роман Юрьевич** – научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук», кандидат юридических наук, доцент. SPIN-код: 4471-2350. ORCID: 0000-0003-1488-7530.

664033, ул. Фаворского, д. 1, г. Иркутск, Россия. E-mail: roman.kolobov@gmail.com

**KOLOBOV Roman Yu.** – PhD (Juridical), Researcher at Federal Research Centre «Irkutsk Institute of Chemistry named after A.E. Favorsky of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Associate Professor. SPIN-code: 4471-2350, ORCID: 0000-0003-1488-7530.

66403. Favorskogo str. 1. Irkutsk. Russia. E-mail: roman.kolobov@gmail.com

**ГРИГОРЬЕВА Ольга Ивановна** – доцент кафедры лесоводства, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент. SPIN-код: 1633-6823. ORCID: 0000-0001-5937-0813.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: grigoreva\_o@list.ru

**GRIGORIEVA Olga I.** – PhD (Agricultural), Associate Professor of the Department of Forestry, St.Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor. SPIN-code: 1633-6823. ORCID: 0000-0001-5937-0813.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: grigoreva\_o@list.ru

Н.В. Мартынова

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ УКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕТОТРАНСФОРМИРУЮЩЕГО ОРГАНИЧЕСКОГО ФОТОЛЮМИНОФОРА ПРИ КЛОНИРОВАНИИ ЧЕРЕНКОВ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ

*Введение.* Озеленение городских ландшафтов играет важную роль в оптимизации экологической ситуации урбанизированных территорий [Локтева и др., 2023; Паникаров и др., 2023, 2024; Бессчетнова и др., 2024а]. Активное введение древесных и кустарниковых растений в состав зеленых кварталов и лесопарков, защитных насаждений и депонирующих карбоновых полигонов требует разнообразия и многофункциональности их ассортимента. Одним из путей достижения данной цели является интродукция хозяйственно ценных растений [Петрова, 1978; Головкин, 1981; Бессчетнова, 1983; Чаховский, 1991], способных образовывать в новых местах их расселения продуктивные и экологически устойчивые сообщества. К числу таких растений, успешно выполняющих санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции, бесспорно, относятся бирючина обыкновенная (*Ligustrum vulgare* L.), сирень венгерская (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.), форзиция промежуточная (*Forsythia × intermedia* Zabel), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.). Данные виды до настоящего времени не получили широкого распространения в фитоценозах Нижегородского Поволжья, поэтому изучение проблем их размножения и акклиматизации весьма актуально. Зачастую расширение территориальных границ и форм их хозяйственного применения сдерживается нехваткой посадочного материала, прежде всего, сортового. Последнее обстоятельство во многом обусловлено отсутствием регионально адаптированных технологий его эффективного клонирования. Результативность деятельности предназначенных для этого вегетационных сооружений принципиально зависит от механических свойств и оптических характеристик используемых покрытий [Бессчетнова, Миронова, 2022; Миронова и др., 2022; Brown et al., 1995; Edser, 2002; Brown, 2004; Max et al., 2012]. Результативность деятельности тепличных хозяйств во многом определяется техническими свойствами и оптическими характеристиками этих покрытий [Бессчетнова и др., 2024б, в; Brown et al., 1995; Edser, 2002; Brown, 2004; Max et al., 2012].

Цель исследований – установить характер регенеративных реакций стеблевых черенков декоративных форм ряда листовых древесных видов и оценить эффективность их укоренения в сезонных вегетационных со-

оружениях с укрытием, состоящим из спанбонда с интегрированным в его структуру светотрансформирующим органическим фотолюминофором.

*Материалы и методика исследования.* Объектом исследований служили стеблевые черенки типичных форм с присвоением им идентификационных кодовых обозначений: бирючины обыкновенной (вид 1), сирени венгерской (вид 2), форзиции промежуточной (вид 3), пузыреплодника калинолистного (вид 4), а также его сортов: «Лютееус» (вид 5), «Диаболо» (вид 6) и «Саммер Вайн» (вид 7). Маточные растения были размещены на участке дендрологической коллекции Нижегородского государственного агротехнологического университета с географическими координатами 56°14'32.7''N 43°57'20.7''E и высотой над уровнем моря 178 м. Работы проведены полевым стационарным и лабораторными методами и в методологическом плане основаны на принципе единственного логического различия и базовых требований к организации опыта – типичности, пригодности, целесообразности и надежности. В соответствии с указанным подходом годовичные побеги одновременно отделяли от периферийной зоны среднего яруса хорошо освещенного участка кроны растений. Затем их расчленили на черенки и размещали в вегетационных сооружениях, оснащенных автоматизированной туманообразующей установкой [Martynova et al., 2021]. В них поддерживались одинаковые для всех вариантов и повторностей опыта условия: температурный фон, освещенность, орошение, субстрат (речной песок) и пр. Мониторинг параметров среды осуществляли с помощью автоматической метеостанции METEOSCAN PRO 929 RST02929. Общим стимулятором роста служил гетероауксин в концентрации 0,02% при экспозиции 18 ч и температуре 20°C. В постановке эксперимента учитывали ранее накопленный собственный опыт [Мартынова и др., 2021; Храмов и др., 2022; Мартынова, Бессчетнова, 2022] и методические разработки других авторов [Бессчетнова и др., 2019; Котынова и др., 2020; Кулькова и др., 2020; Миронова и др., 2022; Вышегородцев и др., 2023].

Укрывным материалом вегетационных сооружений выступал спанбонд (плотностью 30 г/м<sup>2</sup>) с нанесенной на его поверхность лаковой пленкой, содержащей светотрансформирующий органический фотолюминофор [Khramov et al., 2022]. Испытаны его следующие плотности при сплошном равномерном нанесении: 0,25% (фон 1); 0,10% (фон 2); 0,05% (фон 3); 0,025% (фон 4). Кроме того, в схему опыта введен вариант с дискретным нанесением люминофора плотностью 0,25% полосами шириной 10 см при таком же межполосном интервале (фон 5). Оптическая плотность дана в процентах от наличия люминофора в лаке.

Для оценки потенциального влияния на регенерационные процессы, происходящие на нижнем срезе черенков, тестировалось укрытие из того же спанбонда с нанесенной лаковой пленкой без органического фотолюминофора (эталон) с нулевой оптической плотностью. Контролем выступи-

пало немодифицированное укрытие для теплиц и парников из того же основного материала (контроль). Оно представляло собой нетканое термоскрепленное полипропиленовое полотно (агротекстиль) той же плотности 30 г/м<sup>2</sup>. Влияние оптических характеристик укрывного материала вегетационных сооружений тестировали по реакции на его применяемый тип базовых показателей регенерации и пострегенеративного развития корневых систем и надземной части черенков исследованных растений (табл. 1). Линейные параметры надземной части и корней измеряли штангенциркулем Electronic Digital Caliper – G06064731 с точностью до 0,1 мм.

Таблица 1

**Показатели регенерации и пострегенеративного развития корневых систем на черенках испытываемых видов кустарников**

**Indicators of regeneration and post-regenerative development of root systems on cuttings of the tested shrub species**

Категории оценок регенерации и развития	Показатели активности регенерации и пострегенеративного развития черенков	Индекс признака
Эффективность регенерации – регенерационные процессы, происходящие в базальной части черенков	эффективность каллусогенеза – формирование недифференцированной образовательной ткани (каллуса) на нижнем срезе черенка	признак 1
	активность корнеобразования – количество придаточных корней, образовавшихся на нижнем срезе одного черенка	признак 2
Эффективность пострегенеративного развития корневых систем черенков	длина лидирующего корня	признак 3
	общая протяженность корневых систем	признак 4
	общая средняя длина придаточных корней	признак 5
	суммарная длина боковых корней	признак 6
	средняя длина боковых корней	признак 7
	доля длины осевого корня в суммарной протяженности корневых систем	признак 8
	доля длины боковых корней в суммарной протяженности корневых систем	признак 9
	индекс равномерности развития корневых систем как отношение длины осевого корня к средней длине боковых корней	признак 10
	индекс сбалансированности развития корневых систем как отношение длины осевого корня к общей средней длине придаточных корней	признак 11
Эффективность пострегенеративного развития надземной части укорененных черенков	высота надземной части черенков	признак 12
	диаметр корневой шейки черенков	признак 13
	индекс сбалансированности развития надземной части как отношение высоты черенка к его диаметру	признак 14

Интенсивность солнечного излучения над укрытием и под ним фиксировали с помощью люксметра ТКА-ПКМ 08, светочувствительный элемент которого располагали горизонтально в плоскости залегания верхних окончаний черенков (табл. 2).

Таблица 2

**Условия освещенности в вегетационных сооружениях**

**Lighting conditions in vegetation structures**

Вариант укрытия	Интенсивность солнечного освещения, клк			
	первый срок учета (07.06.2021 г.)		второй срок учета (21.06.2021 г.)	
	над укрытием	под укрытием	над укрытием	под укрытием
Фон-1	17,3	11,8	10,6	6,7
Фон-2	17,6	10,8	10,6	5,2
Фон-3	18,1	13,3	10,8	6,4
Фон-4	18,5	12,7	10,8	5,8
Фон-5	15,7	11,5	10,8	5,1
Эталон	15,8	13,7	10,2	6,3
Контроль	14,8	12,7	9,5	4,5

Наряду с параметрами непосредственного учета и фиксации анализировали и производные признаки, которые позволяют более точно и детально охарактеризовать исследуемые объекты [Бессчетнова и др., 2019; Бабеев и др., 2022; Есичев и др., 2022]. Известно, что соотношение протяженности побега и корней коррелирует с выживаемостью растений при пересадке и темпами их развития.

*Результаты исследования и обсуждение.* Реакция испытываемых образцов стеблевых черенков на применение органического фотолуминофора в укрытиях вегетационных сооружений была неодинаковой, что проявилось по всем характеристикам регенерационных процессов (табл. 3–6).

Одним из информативных в общебиологическом и хозяйственном плане показателей регенерационной способности черенков выступает каллусогенез (табл. 3), происходящий на их нижнем срезе. В целом наибольшее на момент учета образование каллуса отмечалось в укрытиях с повышенной долей органического фотолуминофора (фон 1) и зафиксировано у форзиции промежуточной –  $77,00 \pm 4,64\%$  – и сирени венгерской –  $3,16 \pm 5,94\%$ . Наименьший результат в этом варианте укрытия отмечен у

типичной формы пузыреплодника калинолистного (4,50±1,20%) и у его сорта «Саммер Вайн» (5,38±0,88%). Общий наименьший процент образования каллуса зафиксирован в варианте с минимальным содержанием фоллюминофора (фон 5).

Таблица 3

**Каллусогенез на стеблевых черенках**

**Callusogenesis on stem cuttings**

Вариант укрытия	Испытываемые таксоны, получившие условное обозначение «Вид»						
	Вид 1	Вид 2	Вид 3	Вид 4	Вид 5	Вид 6	Вид 7
Фон-1	49,00±4,44	73,16±5,94	77,00±4,64	4,50±1,20	6,00±1,72	6,25±1,40	5,38±0,88
Фон-2	39,00±4,17	65,25±4,80	72,50±4,32	4,00±1,34	5,75±1,59	5,75±1,22	5,13±0,63
Фон-3	38,00±4,57	53,50±6,21	67,50±4,08	3,75±1,20	4,25±1,63	5,50±1,14	4,25±0,89
Фон-4	38,95±3,06	53,16±4,10	69,00±4,50	3,75±0,80	4,25±1,27	5,25±0,92	4,13±0,71
Фон-5	32,50±3,49	47,00±3,62	63,50±4,95	3,25±0,83	3,25±1,04	5,05±0,88	4,25±0,58
Эталон	32,00±3,39	45,80±3,53	64,00±3,96	3,00±0,99	2,50±0,92	4,50±1,02	3,63±0,69
Контроль	37,37±4,09	46,00±4,84	59,50±3,97	3,25±0,91	2,50±0,68	4,80±1,10	3,75±0,61
Total	38,12±1,50	54,72±1,89	67,57±1,66	3,64±0,93	4,07±0,50	5,32±0,41	4,36±0,27

Весьма значимой характеристикой регенерационного развития черенков служит количество образованных на них в процессе ризогенеза придаточных корней. Оно разнилось по декоративным видам и показало неодинаковую восприимчивость к влиянию разных по своим оптическим характеристикам укрывных материалов, что представлено в табл. 4.

Таблица 4

**Ризогенез на черенках**

**Rhizogenesis on cuttings**

Вариант укрытия	Испытываемые таксоны, получившие условное обозначение «Вид»						
	Вид 1	Вид 2	Вид 3	Вид 4	Вид 5	Вид 6	Вид 7
Фон-1	23,20±1,26	12,89±,96	15,10±0,82	1,75±0,51	1,35±0,43	2,05±0,39	1,25±0,26
Фон-2	18,25±0,62	12,65±0,87	10,45±0,37	1,35±0,53	1,30±0,37	1,15±0,47	0,95±0,24
Фон-3	12,15±1,63	10,85±0,74	10,30±0,28	1,30±0,44	0,85±0,34	1,15±0,38	0,65±0,17
Фон-4	9,84±1,03	9,32±0,63	10,85±0,45	1,35±0,24	1,15±0,34	0,50±0,18	0,53±0,21
Фон-5	6,90±0,90	9,50±0,51	9,75±0,61	1,25±0,29	0,80±0,27	1,25±0,30	0,58±0,15
Эталон	11,00±1,10	9,68±0,48	8,95±0,48	0,75±0,25	0,75±0,29	0,55±0,25	0,53±0,14
Контроль	12,32±0,88	9,45±0,64	9,20±0,35	0,80±0,30	0,80±0,26	0,60±0,18	0,55±0,15
Total	13,41±0,52	10,61±0,28	10,66±0,22	1,22±0,14	1,00±0,12	1,04±0,13	0,72±0,07

Наивысшие средние значения данного показателя зафиксированы (табл. 4) у бирючины обыкновенной (вид 1) –  $23,20 \pm 1,26$  шт. в варианте опыта с применением светотрансформирующего укрывного материала с концентрацией фотолуминофора 0,25% (фон 1) и  $18,25 \pm 0,62$  шт. – фон 2 (концентрация 0,10%). Применение укрытия с концентрацией органического фотолуминофора 0,25% (фон 1) дало высокие результаты в отношении всех изучаемых видов. Следовательно, данный фон занял лидирующую позицию среди остальных по ризогенезу. Наибольший показатель ( $23,20 \pm 1,26$  шт., фон 1, бирючина обыкновенная) во всех вариантах опыта превосходил минимум ( $0,53 \pm 0,14$  шт., эталонный образец, пузыреплодник калинолистный «Саммер Вайн») на 22,67 шт., или в 43,77 раза. Превышение обобщенных по вариантам опыта значений ( $13,41 \pm 0,52$  и  $0,72 \pm 0,07$  шт. для вида 1 и вида 7 соответственно) составило 12,69 шт. или 18,63 раза.

Важным показателем пострегенеративного развития корневых систем выступает длина лидирующего корня, который, как правило, развивается в осевой корень. Разные виды в рамках проводимого эксперимента были неодинаковыми в указанном отношении (табл. 5).

Таблица 5

**Длина лидирующего корня, см**

**Length of the leading root, cm**

Вариант укрытия	Испытываемые таксоны, получившие условное обозначение «Вид»						
	Вид 1	Вид 2	Вид 3	Вид 4	Вид 5	Вид 6	Вид 7
Фон-1	$11,28 \pm 0,49$	$10,53 \pm 0,74$	$17,13 \pm 0,53$	$1,99 \pm 0,55$	$1,97 \pm 0,55$	$3,03 \pm 0,63$	$1,28 \pm 0,30$
Фон-2	$13,00 \pm 0,31$	$8,62 \pm 0,60$	$18,74 \pm 0,48$	$1,20 \pm 0,35$	$1,18 \pm 0,34$	$1,93 \pm 0,78$	$0,99 \pm 0,26$
Фон-3	$7,97 \pm 0,98$	$8,59 \pm 0,51$	$16,92 \pm 0,64$	$1,43 \pm 0,44$	$1,07 \pm 0,44$	$2,16 \pm 0,62$	$0,96 \pm 0,22$
Фон-4	$10,61 \pm 1,16$	$8,25 \pm 0,54$	$13,91 \pm 0,59$	$1,06 \pm 0,27$	$0,87 \pm 0,30$	$0,83 \pm 0,32$	$0,93 \pm 0,29$
Фон-5	$6,95 \pm 0,87$	$8,84 \pm 0,80$	$17,59 \pm 0,60$	$1,01 \pm 0,27$	$1,12 \pm 0,44$	$1,19 \pm 0,34$	$0,93 \pm 0,25$
Эталон	$10,32 \pm 0,93$	$8,57 \pm 0,41$	$18,03 \pm 0,31$	$0,85 \pm 0,27$	$0,82 \pm 0,34$	$0,68 \pm 0,28$	$0,92 \pm 0,24$
Контроль	$10,67 \pm 0,79$	$8,54 \pm 0,58$	$16,15 \pm 0,63$	$0,83 \pm 0,23$	$0,80 \pm 0,26$	$0,79 \pm 0,26$	$0,92 \pm 0,24$
Total	$10,10 \pm 0,33$	$8,84 \pm 0,23$	$16,92 \pm 0,22$	$1,19 \pm 0,14$	$1,12 \pm 0,15$	$1,51 \pm 0,20$	$0,99 \pm 0,10$

Они продемонстрировали избирательную реакцию на изменение концентрации фотолуминофора в составе спанбонда. Длина лидирующего корня исследуемых видов показала неодинаковый отклик на повышение концен-

трации органического фотолюминофора (табл. 5). Максимальный результат зафиксирован у вида 3 (форзиция промежуточная) в фоне 2 – 18,74±0,48 см, в эталонном образце – 18,03±0,31 см – и фоне 5 – 17,59±0,60 см. Наименьшая результативность обнаружена у пузыреплодника калинолистного «Диаболо» (0,68±0,28 см), культивируемого в эталонном образце. Обобщенное среднее по сортообразцам в его максимальном проявлении (16,92±0,22 см) отмечено у вида 3, минимальном – у вида 7 (0,99±0,10 см). Превышение обобщенных по вариантам опыта значений составило 17,09 раза или 15,93 см.

Наиболее надежным индикатором успешности происходящих на черенках процессов ризогенеза и пострегенеративного развития черенков выступает общая суммарная протяженность корневых систем, сформировавшихся в течение вегетационного периода (табл. 6). Данный показатель у испытываемых растений обладал наибольшей восприимчивостью к изменению режимов освещенности, которое вызывалось введением в схему опыта фототрансформирующего органического люминофора. Отчетливо наблюдается усиление роста корней во всех вариантах, в которых были задействованы укрывные материалы, содержащие более высокое количество люминофора (фон 1). Наибольший результат обнаружен у бирючины обыкновенной (вид 1) – 190,15±15,06 см и у форзиции промежуточной (вид 3) – 163,23±8,77 см. Наименьший результат в этом случае показал сорт «Саммер Вайн» пузыреплодника калинолистного (вид 7) – 3,13±0,84 см.

Таблица 6

**Общая протяженность корневых систем на черенках, см**

**The total length of root systems on cuttings, cm**

Вариант укрытия	Испытываемые таксоны, получившие условное обозначение «Вид»						
	Вид 1	Вид 2	Вид 3	Вид 4	Вид 5	Вид 6	Вид 7
Фон-1	190,15±15,06	92,88±9,24	163,23±8,77	4,32±1,52	3,61±1,11	7,59±1,68	3,13±0,84
Фон-2	173,11±8,50	90,53±9,09	119,52±5,55	3,05±1,11	2,55±1,76	6,14±2,79	2,60±0,77
Фон-3	100,65±17,41	65,81±6,08	113,43±4,62	3,05±1,03	1,91±0,72	2,99±0,90	1,53±0,39
Фон-4	52,10±13,56	55,22±4,74	103,18±4,60	1,61±0,38	1,69±0,58	1,61±0,59	1,40±0,44
Фон-5	91,79±9,87	54,70±6,00	98,13±7,35	1,63±0,44	1,94±0,82	2,39±0,79	1,37±0,35
Эталон	101,17±12,23	54,81±6,04	107,97±5,70	1,43±0,46	1,46±0,62	1,30±0,55	1,35±0,37
Контроль	97,33±10,52	54,86±5,44	93,54±5,45	1,44±0,54	1,44±0,46	1,36±0,44	1,35±0,35
Total	115,48±5,51	66,87±1,74	114,14±2,65	2,36±0,34	2,08±0,28	3,34±0,54	1,82±0,21

Сравнительно меньшую протяженность корневых систем имели те же образцы в контрольном варианте:  $97,33 \pm 10,52$  см (вид 1);  $93,54 \pm 5,45$  см (вид 3);  $1,35 \pm 0,35$  см (вид 7). В ряде случаев наблюдалось снижение результатов, которое трудно было объяснить направленной реакцией на изменение плотности фотолюминофора в пленочных укрытиях вегетационных сооружений. Так, у бирючины обыкновенной (вид 1) наименьший результат ( $52,10 \pm 13,56$  см) зафиксирован в варианте с фоном 4. У сирени венгерской (вид 2) в вариантах с плотностью сплошного покрытия 0,025% (фон 4), с дискретным нанесением люминофора плотностью 0,25% (фон 5), а также в эталонном и контрольном вариантах наблюдалось устойчивое уменьшение показателей до уровня от  $54,70 \pm 6,00$  см до  $55,22 \pm 4,74$  см.

Все вышеуказанные различия между сравниваемыми вариантами опыта (в нашем случае различными концентрациями фотолюминофора) проявились на выровненном фоне экологических условий (биологические характеристики черенков и параметры среды в вегетационных сооружениях абсолютно идентичны), что дало основание признать причиной их возникновения эффект влияния оптических свойств используемых укрывных материалов.

В порядке обсуждения материалов можно отметить, что достигнутый нами результат позволит существенно снизить дефицит качественного посадочного материала, предназначенного для эффективного решения проблем экологии современных городов, которое может быть достигнуто путем совершенствования и оптимизации ассортимента создаваемых в них объектов озеленения, в том числе путем привлечения наиболее эффективных в указанном плане и хорошо адаптированных к местам расселения экзотов. Подобных взглядов на указанную проблему придерживаются многие специалисты [Калуцкий и др., 1986; Бессчетнова и др., 2017; Кулькова и др., 2020; Бабаев и др., 2022; Есичев и др., 2022; Kulkova et al., 2022]. Выводы о перспективности практического использования в Нижегородском Поволжье исследованных видов, чьи ареалы лежат за его пределами, в целом соответствуют сложившейся к настоящему моменту отечественной теории интродукции [Базилевская, 1964; Бессчетнова, 1971, 1983; Лапин, 1971, 1972; Лапин и др., 1979].

Полученные подтверждения перспективности применения испытанных укрывных материалов в укоренении черенков, а также ранее накопленные нами данные [Мартынова и др., 2021; Храмов и др., 2022; Мартынова и др., 2022; Martynova et al., 2021] принципиально соответствуют публикациям других авторов по указанному вопросу [Бессчетнова и др., 2024б, в; Parimala et al., 2024]. Выявленная эффективность включения в их состав светопрео-

разующих материалов совпадает с современными представлениями о возможностях регулирования спектральных и других параметров светового потока в количественном и качественном отношении [Карасев, 1995; Иваницкий, 2011; Храмов и др., 2015; Brown, 1995; González et al., 2001; Espi et al., 2006a, b; Gavriluta et al., 2017; Wang et al., 2020; Maraveas et al., 2021; Sánchez-Lanuza et al., 2021]. Зафиксированное вследствие этого повышение результативности укоренения черенков, а также усиление пострегенеративного развития их надземной части и корневых систем адекватно мнению отечественных и зарубежных специалистов, что коррекция светового потока способна вызывать разнонаправленные ответные реакции растений, затрагивающие их биологию [Щелоков, 1986; Teng et al., 2014; Delprato et al., 2015], морфогенез [Минич и др., 2006, 2011; Kosobryukhov et al., 2000; Jansen, 2002], фотосинтезирующий аппарат [Guo, Tan, 2015] и многое другое [Минич и др., 2011; Terry et al., 2024].

#### *Выводы.*

1. Протестированные укрывные материалы, содержащие в своем составе светотрансформирующий органический фотолуминофор, способны вызвать возрастание активности каллусогенеза и ризогенеза, а также повышение темпов пострегенерационного развития корневых систем стеблевых черенков изученных декоративных видов;

2. Наиболее интенсивное образование каллуса и придаточных корней, а также развитие корневых систем всех испытываемых растений отмечалось в укрытиях с повышенной долей органического фотолуминофора; общие наименьшие показатели зафиксированы в варианте с его минимальным содержанием. Применение укрытия с концентрацией светотрансформирующего вещества 0,25% дало лучшие результаты в отношении всех исследованных в опыте видов;

3. Изученные виды, их декоративные формы и сорта обладали неодинаковой реакцией на спектральное преобразование потока солнечного света. Более восприимчивыми к нему в границах испытанных концентраций люминофора в укрывном материале оказались особи бирючины обыкновенной и форзиции промежуточной;

4. Испытанная технология размножения древесных видов результативна в получении посадочного материала вегетативного происхождения. Достигнутый уровень корнеобразования и каллусогенеза, а также пострегенеративного развития корневых систем свидетельствует о большом потенциале интродукции данных видов в Нижегородскую область и широких перспективах их хозяйственного применения в указанном регионе.

*Благодарности.* Автор выражает благодарность кандидату физико-математических наук Р.Н. Храмову за предоставленный экспериментальный укрывной материал, содержащий биологический фотолуминофор, и за консультации по его применению.

*Конфликт интересов.* Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Базилевская Н.А. Теории и методы интродукции растений. М.: МГУ, 1964. 131 с.

Бабаев Р.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментация листовых пластин представителей рода береза (*Betula* L.) // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 3. С. 29–38. DOI: 10.18698/2542–1468–2022–3–29–38.

Бессчетнова М.В. Некоторые генетические аспекты теории интродукции растений // Бюллетень Главного ботанического сада. 1971. Вып. 82. С. 3–7.

Бессчетнова М.В. Адаптационные процессы с позиции интродукции растений // Бюллетень Главного ботанического сада. 1983. Вып. 128. С. 1–6.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В., Вышегородцев А.В., Широков А.И. Укореняемость черенков тиса канадского (*Taxus canadensis* Marshall) в экологических условиях Нижегородского Поволжья // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства // Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии: матер. Междунар. науч.-практич. конф. Нижний Новгород, 2019. С. 139–145.

Бессчетнова Н.Н., Миронова А.Ю. Применение фотолуминофора в вегетационных сооружениях при размножении черенками пузыреплодника калинолистного // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы XV Международной научной конференции. Т. 25. Красноярск, 2022. С. 15–19.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Паникаров И.И. Пылезадерживающая способность хвои ели колючей в насаждениях г. Нижнего Новгорода // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024а. Вып. 247. С. 188–208. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Храмов Р.Н. Влияние модифицированного фотолуминофором агротекстиля спанбонд на укоренение черенков туи западной (*Thuja occidentalis* L.) // Лесной вестник. 2024б. Т. 28, № 2. С. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-17-26.

Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Храмов Р.Н., Бабиц Н.А., Мелехов В.И. Синтетические укрытия вегетационных сооружений с интегрированным фото-

люминофором в укоренении черенков туи западной // Известия вузов. Лесной журнал. 2024в. Вып. 2. С. 29–48. DOI:10.37482/0536-1036-2024-2-29-48

Вышегородцев А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Широков А.И. Видоспецифичность регенеративной способности черенков тиса при интродукции в Нижегородскую область // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 2. С. 118–132. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-118-132.

Головкин Б.Н. История интродукции растений в ботанических садах. М.: МГУ, 1981. 123 с.

Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич А.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 1. С. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27.

Иваницкий А.Е. Исследование свойств фотолюминесцентных пленок при возбуждении солнечным излучением // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2011. Вып. 8. С. 119–123.

Калуцкий К.К., Болотов Н.А., Михайленко Д.М. Древесные экзоты и их насаждения: справочное издание. М.: Агропромиздат, 1986. 271 с.

Карасев В.Е. Полисветаны – полимерные светотрансформирующие материалы для сельского хозяйства // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 1995. № 2. С. 66–73.

Котынова М.Ю., Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Укоренение черенков декоративных форм туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в теплицах // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Вологда, 2020. С. 147–149.

Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Применение стимулирующей обработки в укоренении черенков ели Коники // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79–91.

Латин П.И. Теория и практика интродукции древесных растений в средней полосе европейской части СССР // Бюллетень Главного ботанического сада. 1971. Вып. 81. С. 60–69.

Латин П.И. О терминах, применяемых в исследованиях по интродукции и акклиматизации растений // Бюллетень Главного ботанического сада. 1972. Вып. 83. С. 10–18.

Латин П.И., Калуцкий К.К., Калуцкая О.Н. Интродукция лесных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 224 с.

Локтева А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Биологические особенности представителей рода ель (*Picea* A. Dietr.) в структуре урбоэкосистем // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2023. Материалы XII Международной научно-практической конференции. Саратов–Нижний Новгород, 2023. С. 7–21.

Мартынова Н.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Мартынов Р.В. Влияние биологически активных препаратов при стимулировании черенков бирючины обыкновенной (*Ligustrum vulgare* L.) // От биопродуктов к биоэкономике: материалы IV Межрегиональной научно-практической конференции (с международным участием). Барнаул, 2021. С. 77–81.

Мартынова Н.В., Бессчетнова Н.Н. Применение стимуляторов роста при размножении зелеными черенками бирючины обыкновенной // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. Екатеринбург, 2022. С. 183–186.

Миронова А.Ю., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Гаврилова А.А. Развитие черенков декоративных форм и сортов пузыреплодника калинолистного при укоренении с использованием светотрансформирующих укрытий // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения: сборник научных статей по материалам всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нижний Новгород, 2022. С. 314–324.

Минич А.С., Минич И.Б., Зеленьчукова Н.С., Карначук Р.А., Головацкая И.Ф., Ефимова М.В., Райда В.С. Роль красного люминесцентного излучения низкой интенсивности в регуляции морфогенеза и гормонального баланса *Arabidopsis thaliana* // Физиология растений. 2006. Т. 53, № 6. С. 762–767.

Минич А.С., Минич И.Б., Шайтарова О.В., Пермякова Н.Л., Зеленьчукова Н.С., Иваницкий А.Е., Филатов Д.А., Излев Г.А. Жизнедеятельность *Lactuca sativa* и микроорганизмов почвы под флуоресцентными пленками // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2011. Вып. 8(110). С. 78–84.

Паникаров И.И., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Взаимозависимость параметров хвои ели колючей в определении её пылезадерживающей способности // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 6. С. 495–503. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-495-503.

Паникаров И.И., Бессчетнова Н.Н., Воробьев Р.А. Изменчивость параметров хвои ели колючей в объектах озеленения Нижнего Новгорода // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург, 2024. С. 303–308.

Петрова И.П. Интродукция древесных растений Средней Азии в Москве. М.: Наука, 1978. 154 с.

Чаховский А.А. Эколого-биологические основы интродукции древесных растений в Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1991. 223 с.

Храмов Р.Н., Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Гаврилова А.А. Нанокompозитные светотрансформирующие укрывные материалы в лесном и сельском хозяйстве // Элементная база отечественной радиоэлектроники: импортозамещение и применение. Труды II Российско-Белорусской научно-технической конференции им. О.В. Лосева, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечествен-

ной войне, 70-летию образования РНТОРЭС им. А.С. Попова, Всемирному Году Света. Нижний Новгород, 2015. С. 325–328.

*Храмов Р.Н., Миронова А.Ю., Мартынова Н.В., Гаврилова А.А.* Корнеобразование на черенках декоративных форм и сортов пузыреплодника калинолистного в условиях применения светотрансформирующих укрытий // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4(36). С. 98–109.

*Щелоков Р.Н.* Полисветаны и полисветановый эффект // Известия АН СССР. 1986. № 10. С. 50–55.

*Brown C.S., Schuerger A.C., Sager J.C.* Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting-diodes with supplemental blue or far-red lighting // Journal of the American Society for Horticultural Science. 1995. Vol. 120, iss. 3. P. 808–813. DOI:10.21273/JASHS.120.5.808.

*Brown R.P.* Polymers in agriculture and horticulture // Rapra Review Reports. 2004. Vol. 15, no. 2. P. 1–92.

*Delprato M.L., Krapp A.R., Carrillo N.* Green light to plant responses to pathogens: the role of chloroplast light-dependent signaling in biotic stress // Photochemistry and Photobiology. 2015. Vol. 91, iss. 5. P. 1004–1011. DOI: 10.1111/php.12466.

*Edser C.* Light manipulating additives extend opportunities for agricultural plastic films // Plastics, Additives and Compounding. 2002. Vol. 4, iss. 3. P. 20–24. DOI: 10.1016/s1464-391x(02)80079-4.

*Espi E., Salmeron A., Fontecha A., García Y., Real A.I.* Plastic films for agricultural applications // Journal of Plastic Film and Sheeting. 2006a. Vol. 22, iss. 2. P. 85–122. DOI: 10.1177/8756087906064220.

*Espi E.* New Ultrathermic Films for Greenhouse Covers // Journal of Plastic Film and Sheeting. 2006b. Vol. 22, iss. 1. P. 59–68. DOI: 10.1177/8756087906062764.

*Gavriluta A., Fix T., Nonat Al., Slaoui A., Guillemoles J-F., Charbonnière L.J.* Tuning the Chemical Properties of Europium Complexes as Downshifting Agents for Copper Indium Gallium Selenide Solar Cells // Journal of Materials Chemistry. 2017. Vol. 5. P. 14031–14040. DOI:10.1039/C7TA02892J.

*González A., Rodríguez R., Bañon S., Franco J.A., Fernández J.A.* The influence of photoselective plastic films as greenhouse cover on sweet pepper yield and on insect pest levels // Acta Horticulturae. 2001. Vol. 559. P. 233–238. DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.559.34.

*Guo Y., Tan J.* Recent Advances in the Application of Chlorophyll a Fluorescence from Photosystem II // Photochemistry and Photobiology. 2015. Vol. 91, iss. 1. P. 1–14. DOI: 10.1111/php.12362.

*Jansen M.A.K.* Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses // Physiologia Plantarum. 2002. Vol. 116, iss. 3. P. 423–429. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1160319.

*Khranov R.N., Martynova N.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Luponosov Y.N.* The effectiveness of agrotexile cover with organic photoluminophore in rooting cuttings

of Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rehb.) // Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy: International Scientific and Practical Conference. Section Agrobiotechnology in Crop and Livestock Production. 2022. Vol. 42. Art. no. 01017. DOI: 10.1051/bioconf/20224201017.

*Kosobryukhov A.A., Kreslavski V.D., Khramov R.N., Bratkova L.R., Shchelokov R.N.* Effect of additional low intensity luminescence radiation 625 nm on plant growth and photosynthesis of plants // Biotronics. 2000. Vol. 29. P. 23–31.

*Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev Y.Zh., Kentbaeva B.A.* Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment // IVUZ. Lesnoy Zhurnal. 2022. № 4. P. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.

*Maraveas C., Loukatos D., Bartzanas T., Arvanitis K.G., Uijterwaal J.F.* Smart and Solar Greenhouse Covers: Recent Developments and Future Perspectives // Frontiers. Frontiers in Energy Research. 2021. Vol. 9. Art. no. 783587. DOI: 10.3389/fenrg.2021.783587.

*Martynova N.V., Besschetnova, N.N., Besschetnov V.P., Martynov R.V.* Effectiveness of stimulating treatment cuttings of common privet (*Ligustrum vulgare* L.) with biologically active preparations // Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions: International Forestry Forum, Voronezh. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 875. Art. no. 012081. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012081.

*Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A.* Greenhouse Cover Technology // Horticultural Reviews. 2012. Vol. 40. P. 259–396.

*Parimala M.P., Rao M.C., Koutavarapu R., Dubey V.* Synthesis and Luminescence Studies of Tb<sup>3+</sup> Doped Li<sub>2</sub>CaSiO<sub>4</sub> Phosphor for Optical Device Application // Journal of Applied Spectroscopy. 2024. Vol. 91, iss. 3. P. 640. DOI: 10.1007/s10812-024-01765-1.

*Sánchez-Lanuza M.B., Menéndez-Velázquez A., Peñas-Sanjuan A., Navas-Martos F.J., Lillo-Bravo I., Delgado-Sánchez J.-M.* Advanced photonic thin films for solar irradiation tuneability oriented to greenhouse applications // Materials. 2021. Vol. 14, iss. 9. Art. no. 2357. DOI: 10.3390/ma14092357.

*Terry L., Maier C.R., Liang W., Klause N., He J., Tissue D.T., Lan Y.-Ch., Sethuvenkatraman S., Goldsworthy M., Chen Zh.-H.* A light-blocking greenhouse film differentially impacts climate control energy use and capsicum production // Frontiers. Frontiers in Energy Research. 2024. Vol. 12. Art. no. 1360536. DOI: 10.3389/fenrg.2024.1360536.

*Teng Yu., Chen L., Cai D., Wang T., Huang X.* Effect of reflective film on sugar accumulation and sucrose-metabolizing enzyme activities of 'Cuiguan' pear under plastic tunnel culture // Acta Horticulturae. 2014. Vol. 1015. P. 59–65. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1015.6.

*Wang H., Yang S., Li X., Yang F., Sun X., Li W., Yao Z.* Improving light converting properties with wettability of polyethylene film by rare earth complex Eu(GI)<sub>3</sub>Phen // Polymer-Plastics Technology and Materials. 2020. Vol. 59, iss. 17. P. 1875–1886. DOI: 10.1080/25740881.2020.1765379.

## References

*Bazilevskaya N.A.* Theories and methods of plant introduction. Moscow: Moscow State University, 1964. 131 p. (In Russ.)

*Babaev R.N., Besschetnova N.N., Besschetov V.P.* Pigmentation of the leaf plate of a representative of the genus birch (*Betula* L.). *Lesnoy vestnik*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 29–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-29-38. (In Russ.)

*Besschetnova M.V.* Some genetic aspects of the theory of plant introduction. *Bulletin of the Main Botanical Garden*, 1971, iss. 82, pp. 3–7. (In Russ.)

*Besschetnova M.V.* Adaptation processes from the perspective of plant introduction. *Bulletin of the Main Botanical Garden*, 1983, iss. 128, pp. 1–6. (In Russ.)

*Besschetnova N.N., Besschetov V.P., Kulkova A.V., Mishukova I.V.* Starch content in the tissues of shoots of different species of spruce (*Picea* A. Dietr.) in conditions of introduction. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57. (In Russ.)

*Besschetnova N.N., Kulkova A.V., Vyshegorodtsev A.V., Shirokov A.I.* Rooting of cuttings of the Canadian yew (*Taxus canadensis* Marshall) in the ecological conditions of the Nizhny Novgorod Volga region. *Economic aspects of the development of agriculture and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus: materials of international scientific and practical conference*. Nizhny Novgorod, 2019, pp. 139–145. (In Russ.)

*Besschetnova N.N., Mironova A.Yu.* The use of photoluminophore in vegetation structures during propagation by cuttings of *Pemphigus viburnum*. *Fruit growing, seed production, introduction of woody plants: proceedings of the XV International Scientific Conference*. Krasnoyarsk, 2022, vol. 25, pp. 15–19. (In Russ.)

*Besschetnova N.N., Besschetov V.P., Panikarov I.I.* The dust-retaining ability of the needles of the prickly spruce in the plantations of Nizhny Novgorod. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024a, iss. 247, pp. 188–208. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.188-208. (In Russ.)

*Besschetnova N.N., Besschetov V.P., Khramov R.N.* Influence of spunbond agrotexile modified with photoluminophore on rooting of cuttings of arbovitae (*Thuja occidentalis* L.). *Lesnoy vestnik*, 2024b, vol. 28, no. 2, pp. 17–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-17-26. (In Russ.)

*Besschetnova N.N., Besschetov V.P., Khramov R.N., Babich N.A., Melekhov V.I.* Synthetic shelters of vegetation structures with integrated photoluminophore in rooting of cuttings of arbovitae. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2024c, iss. 2, pp. 29–48. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-29-48. (In Russ.)

*Brown K.S., Sherger A.S., Sager J.S.* Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting-diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1995, vol. 120, iss. 3, pp. 808–813. DOI: 10.21273/JASHS.120.5.808.

Brown R.P. Polymers in agriculture and horticulture. *Rapra Review Reports*, 2004, vol. 15, no. 2, pp. 1–92.

Chakhovsky A.A. Ecological and biological bases of the introduction of woody plants in Belarus. Minsk: Science and Technology, 1991. 223 p. (In Russ.)

Delprato M.L., Krapp A.R., Carrillo N. Green light in plant response to pathogens: the role of light-dependent signaling of chloroplasts in biotic stress. *Photochemistry and Photobiology*, 2015, vol. 91, iss. 5, pp. 1004–1011. DOI: 10.1111/php.12466

Edser S. Light manipulating additives extend opportunities for agricultural plastic films. *Plastics, additives and compounding*, 2002, vol. 4, iss. 3, pp. 20–24. DOI: 10.1016/s1464-391x(02)80079-4.

Espi E., Salmeron A., Fontecha A., García Y., Real A.I. Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 2006, vol. 22, iss. 2, pp. 85–122. DOI: 10.1177/8756087906064220.

Espi E., Salmeron A., Fontecha A., García Y., Real A.I. Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 2006, vol. 22, iss. 1, pp. 59–68. DOI: 10.1177/8756087906062764.

Gavriluta A., Fix T., Nonat Al., Slaoui A., Guillemoles J-F., Charbonnière L.J. Tuning the chemical properties of europium complexes as downshifting agents for copper indium gallium selenide solar cells. *Journal of Materials Chemistry*, 2017, vol. 5, pp. 14031–14040. DOI:10.1039/C7TA02892J.

Golovkin B.N. The history of plant introduction in botanical gardens. Moscow: Moscow State University, 1981. 123 p. (In Russ.)

Gonzalez A., Rodriguez R., Bagnon S., Franco H.A., Fernandez H.A. The effect of photo-selective plastic films as greenhouse coatings on sweet pepper yields and pest levels. *Acta Horticulturae*, 2001, vol. 559, pp. 233–238. DOI: 10.17660/ActaHortic.2001.559.34.

Guo Y., Tan J. Recent Advances in the Application of Chlorophyll a Fluorescence from Photosystem II. *Photochemistry and Photobiology*, 2015, vol. 91, iss. 1, pp. 1–14. DOI: 10.1111/php.12362.

Ivanitsky A.E. Investigation of the properties of photoluminescent films under excitation by solar radiation. *Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*, 2011, iss. 8, pp. 119–123. (In Russ.)

Jansen M.A.K. Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses. *Physiologia Plantarum*, 2002, vol. 116, iss. 3, pp. 423–429. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1160319

Kalutsky K.K., Bolotov N.A., Mikhailenko D.M. Arboreal exotics and their plantations: a reference edition. Moscow: Agropromizdat, 1986. 271 p. (In Russ.)

Karasev V.E. Polysvetanes – polymer light-transforming materials for agriculture. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 1995, no. 2, pp. 66–73. (In Russ.)

*Khramov R.N., Mironova A.Yu., Martynova N.V., Gavrilova A.A.* Root formation on cuttings of decorative forms and varieties of viburnum pempifugus in the conditions of using light-transforming shelters. *Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*, 2022, no. 4(36), pp. 98–109. (In Russ.)

*Khramov R.N., Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Gavrilova A.A.* Nanocomposite light-transforming covering materials in forestry and agriculture. *Element base of domestic radioelectronics: import substitution and application: proceedings of the II Russian-Belorussian scientific-technical conference named after O.V. Losev, dedicated to the 70th anniversary of Victory in the Great Patriotic War, the 70th anniversary of the formation of the A.S. Popov RNTORES, the World Year of Light. Nizhny Novgorod, 2015*, pp. 325–328. (In Russ.)

*Khramov R.N., Martynova N.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Luponosov Y.N.* The effectiveness of agrotexile cover with organic photoluminophore in rooting cuttings of Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.). *Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy: International Scientific and Practical Conference. Section Agrobiotechnology in Crop and Livestock Production. 2022*, vol. 42, art. no. 01017. DOI: 10.1051/bioconf/20224201017.

*Kosobryukhov A.A., Kreslavski V.D., Khramov R.N., Bratkova L.R., Shchelokov R.N.* Effect of additional low intensity luminescence radiation 625 nm on plant growth and photosynthesis of plants. *Biotronics*, 2000, vol. 29, pp. 23–31.

*Kotynova M.Yu., Besschetnov V.P., Besschetnova N.N.* Rooting cuttings of decorative forms of arbovitae (*Thuja Occidentalis* L.) in greenhouses. *Actual problems of development of the forest complex: materials of the XVIII scientific and technical International Conference. Vologda, 2020*, pp. 147–149. (In Russ.)

*Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P.* The use of stimulating treatment in rooting cuttings of Conica spruce. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehničeskoj Akademii*, 2020, iss. 232, pp. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91. (In Russ.)

*Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbaev Y.Zh., Kentbaeva B.A.* Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2022, no. 4, pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.

*Lapin P.I.* Theory and practice of introduction of woody plants in the middle zone of the European part of the USSR. *Bulletin of the Main Botanical Garden*, 1971, iss. 81, pp. 60–69. (In Russ.)

*Lapin P.I.* On the terms used in research on the introduction and acclimatization of plants. *Bulletin of the Main Botanical Garden*, 1972, iss. 83, pp. 10–18. (In Russ.)

*Lapin P.I., Kalutsky K.K., Kalutskaya O.N.* Introduction of forest species. Moscow: Forest Industry, 1979. 224 p. (In Russ.)

Lokteva A.V., Beschetnova N.N., Beschetnov V.P. Biological connections of representatives of the genus el (*Picea* A. Dietr.) with a structural unit. *Dutch architecture and growth: from project to nomics – 2023*: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference, Saratov-Nizhny Novgorod, 2023, pp. 7–21. (In Russ.)

Maraveas C., Loukatos D., Bartzanas T., Arvanitis K.G., Uijterwaal J.F. Smart and Solar Greenhouse Covers: Recent Developments and Future Perspectives. *Frontiers. Frontiers in Energy Research*, 2021, vol. 9, art. no. 783587. DOI: 10.3389/fenrg.2021.783587.

Martynova N.V., Besschetnova N.N. The use of growth stimulants in reproduction by green cuttings of common privet. *Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia*: materials of the XVIII All-Russian (national) scientific and technical conference. Yekaterinburg, 2022, pp. 183–186. (In Russ.)

Martynova N.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Martynov R.V. The effect of biologically active drugs in stimulating cuttings of privet (*Ligustrum vulgare* L.) *From bioproducts to bioeconomics*: Proceedings of the IV Interregional scientific and practical Conference (with international participation). Barnaul, 2021, pp. 77–81. (In Russ.)

Martynova N.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Martynov R.V. Effectiveness of stimulating treatment cuttings of privet common (*Ligustrum vulgare* L.) with biologically active preparations. *Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions*: International Forestry Forum, Voronezh. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 875, art. no. 012081. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012081.

Max J.F.J., Schurr U., Tantau H.-J., Mutwiwa U.N., Hofmann T., Ulbrich A. Greenhouse Cover Technology. *Horticultural Reviews*, 2012, vol. 40, pp. 259–396.

Minich A.S., Minich I.B., Shaitarova O.V., Permyakova N.L., Zelenchukova N.S., Ivanitsky A.E., Filatov D.A., Ivlev G.A. Vital activity of *Lactuca sativa* and soil microorganisms under fluorescent films. *Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*, 2011, iss. 8(110), pp. 78–84. (In Russ.)

Minich A.S., Minich I.B., Zelenchukova N.S., Karnachuk R.A., Golovatskaya I.F., Efimova M.V., Raida V.S. The role of low-intensity red luminescent radiation in the regulation of morphogenesis and hormonal balance of *Arabidopsis thaliana*. *Plant physiology*, 2006, vol. 53, no. 6, pp. 762–767. (In Russ.)

Mironova A.Yu., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Gavrilova A.A. Development of cuttings of decorative forms and varieties of viburnum when rooting using light-transforming shelters. *Forestry: current problems and ways to solve them*: collection of scientific articles on mater. All-Russian (national) scientific and practical conference. Nizhny Novgorod, 2022, pp. 314–324. (In Russ.)

Panikarov I.I., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. The interdependence of the parameters of the needles of the prickly spruce in determining its dust-holding ability. *Coniferous of boreal zone*, 2023, vol. XLI, no. 6, pp. 495–503. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-495-503. (In Russ.)

Panikarov I.I., Besschetnova N.N., Vorobyov R.A. Variability of the parameters of the needles of the prickly spruce in the landscaping facilities of Nizhny Novgorod. *Scientific creativity of young people is for the forestry of Russia: Materials of the XX All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of students and PhD students*. Yekaterinburg, 2024, pp. 303–308. (In Russ.)

Parimala M.P., Rao M.C., Koutavarapu R., Dubey V. Synthesis and Luminescence Studies of Tb<sup>3+</sup> Doped Li<sub>2</sub>CaSiO<sub>4</sub> Phosphor for Optical Device Application. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2024, vol. 91, iss. 3, p. 640. DOI: 10.1007/s10812-024-01765-1.

Petrova I.P. Introduction of woody plants of Central Asia in Moscow. Moscow: Nauka, 1978. 154 p. (In Russ.)

Sánchez-Lanuzá M.B., Menéndez-Velázquez A., Peñas-Sanjuan A., Navas-Martos F.J., Lillo-Bravo I., Delgado-Sánchez J.-M. Advanced photonic thin films for solar irradiation tuneability oriented to greenhouse applications. *Materials*, 2021, vol. 14, iss. 9, art. no. 2357. DOI: 10.3390/ma14092357.

Shchelokov R.N. Polysvetanes and polysvetane effect. *Izvestia of the USSR Academy of Sciences*, 1986, no. 10, pp. 50–55. (In Russ.)

Teng Yu., Chen L., Cai D., Wang T., Huang X. Effect of reflective film on sugar accumulation and sucrose-metabolizing enzyme activities of 'Cuiguan' pear under plastic tunnel culture. *Acta Horticulturae*, 2014, vol. 1015, pp. 59–65. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1015.6.

Terry L., Maier C.R., Liang W., Klause N., He J., Tissue D.T., Lan Y.-Ch., Sethuvenkatraman S., Goldsworthy M., Chen Zh.-H. A light-blocking greenhouse film differentially impacts climate control energy use and capsicum production. *Frontiers in Energy Research*, 2024, vol. 12, art. no. 1360536. DOI: 10.3389/fenrg.2024.1360536.

Vyshegorodtsev A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Shirokov A.I. Species specificity of the regenerative ability of yew cuttings during introduction to the Nizhny Novgorod region. *Coniferous of boreal zone*, 2023, vol. XLI, no. 2, pp. 118–132. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-118-132. (In Russ.)

Wang H., Yang S., Li X., Yang F., Sun X., Li W., Yao Z. Improving light converting properties with wettability of polyethylene film by rare earth complex Eu(GI)3Phen. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2020, vol. 59, iss. 17, pp. 1875–1886. DOI: 10.1080/25740881.2020.1765379.

Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich A.N., Kentbaev E.Zh., Kentbayeva B.A. The content and balance of spare substances in Siberian larch shoots under conditions of reintroduction to the Nizhny Novgorod region. *Lesnoy vestnik*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 17.05.2024

**Мартынова Н.В.** Эффективность укрытий с применением светотрансформирующего органического фотолуминофора при клонировании черенков древесных видов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 79–99. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.79-33

Изучали эффективность применения светотрансформирующего укрытия вегетационных сооружений, состоящего из спанбонда с интегрированным в его структуру органическим фотолуминофором, при укоренении черенков древесных видов. Объектом исследования явились стеблевые черенки типичных форм бирючины обыкновенной (*Ligustrum vulgare* L.), сирени венгерской (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rechb.), форзиции промежуточной (*Forsythia × intermedia* Zabel), пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) и его сортов «Лютеус», «Диабло» и «Саммер Вайн», находящиеся в активном физиологическом состоянии, соответствующем фазе завершения линейного роста побегов. Маточные растения были размещены в дендрарии Нижегородского ГАТУ. Побеги одновременно заготавливали из периферийной зоны среднего яруса хорошо освещенного участка кроны растений, дислоцированных в границах единого опытного участка с географическими координатами 56°14'32.7"N 43°57'20.7"E и высотой над уровнем моря 178 м. Организационно-методическая схема проведения работ базировалась на принципах единственного логического различия, типичности, целесообразности и надежности опыта. Исследования проведены полевым стационарным и лабораторными методами. Испытаны синтетические укрывные материалы с включением в их состав фотолуминофоров. Летние вегетационные сооружения были оснащены туманообразующей установкой с автоматом подачи воды и контролем за параметрами среды. В качестве субстрата в них использован крупнозернистый речной песок. Выявили специфическую реакцию черенков на изменение концентрации фотолуминофора в структуре спанбонда. Наиболее высокие темпы образования каллуса отмечены в вариантах укрытия с наибольшей концентрацией люминофора и обнаружены у форзиции промежуточной – 77,00±4,64% и сирени венгерской — 73,16±5,94%. Зафиксировали, что данные древесные виды в условиях интродукции различным образом проявили свою регенерационную способность при их размножении черенками в летних вегетационных сооружениях с применением светотрансформирующих укрытий.

**Ключевые слова:** укоренение, каллусогенез, ризогенез, органический фотолуминофор, бирючина обыкновенная, сирень венгерская, форзиция промежуточная, пузыреплодник калинолистный.

**Martynova N.V.** Effectiveness of shelters using light-transforming organic photoluminophore in cloning cuttings of woody species. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 79–99 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.79-99

The effectiveness of the use of a light-transforming shelter for vegetation structures, consisting of a spunbond with an organic photoluminophore integrated into its structure, was studied when rooting cuttings of woody species. The object of the study were stem cuttings of typical forms of common privet (*Ligustrum vulgare* L.), Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.), *Forsythia* × *intermedia* Zabel, *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. and its varieties “Luteus”, “Diabolo” and “Summer Vine”, which are in an active physiological state corresponding to the phase of completion of linear growth of shoots. The mother plants were placed in the arboretum of the Nizhny Novgorod GATU. Shoots were simultaneously harvested from the peripheral zone of the middle tier of a well-lit section of the crown of plants located within the boundaries of a single experimental site with geographical coordinates 56°14'32.7"N 43°57'20.7"E and a height above sea level of 178 m. The organizational and methodological scheme of the work was based on the principles of a single logical difference, typicality, expediency and reliability of experience. The research was carried out using field stationary and laboratory methods. Synthetic covering materials with the inclusion of photoluminophores in their composition have been tested. The summer vegetation facilities were equipped with a fog-forming installation with an automatic water supply and control of environmental parameters. Coarse-grained river sand is used as a substrate in them. A specific reaction of cuttings to changes in the concentration of photoluminophore in the spunbond structure was revealed. The highest rates of callus formation were noted in the shelter variants with the highest concentration of phosphor and were found in *Forsythia* × *intermedia* – 77.00±4.64% and Hungarian lilac – 73.16±5.94%. It was recorded that these tree species under the conditions of introduction showed their regenerative ability in various ways when they were propagated by cuttings in summer vegetation structures using light-transforming shelters.

**Key words:** rooting, callusogenesis, rhizogenesis, organic photoluminophore, common privet, Hungarian lilac, *Forsythia* × *intermedia*, *Physocarpus opulifolius*.

---

**МАРТЫНОВА Наталья Валерьевна** – старший преподаватель кафедры лесной таксации и лесоустройства Нижегородского государственного агротехнологического университета, SPIN-код: 4247-3918.

603107, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия. E-mail: martynovana-tasha94@yandex.ru

**MARTYNOVA Natalia V.** – Senior lecturer at the Department of Forest Taxation and Forest Management of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. SPIN-code: 4247-3918.

603107, Gagarina av. 97, Nizhny Novgorod, Russia. E-mail: martynovana-tasha94@yandex.ru

**В.В. Бялт, А.А. Егоров, А.В. Волчанская, А.А. Логинова, Г.А. Фирсов**

**РОДОДЕНДРОН СИКАНГСКИЙ  
(*RHODODENDRON SIKANGENSE* FANG) – НОВЫЙ ВИД  
РОДОДЕНДРОНА ДЛЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

*Введение.* Активное испытание рододендронов в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (БС БИН РАН) в Санкт-Петербурге в открытом грунте началось в начале XIX века [Связева, 2005]. Первые рододендроны были известны и за столетие до того, как только столица Российской империи переместилась из Москвы в Санкт-Петербург. В это время был создан Летний сад (1704 г.), основан Аптекарский огород (сейчас БС БИН РАН) в 1714 г. и появились сады около дворцов богатых вельмож в пригородах столицы. Например, о рододендронах говорит в своих записях учёный Даниэль Готтлиб Мессершмидт, который был послан по личному указу Петра Первого исследовать Сибирь и восемь лет путешествовал по ней (1719–1727 гг.). Тем не менее, ни один вид рододендронов не был включён в первый каталог Аптекарского огорода (Медицинского сада) на Аптекарском острове, составленный И.Г. Сигезбеком в 1736 г.

В дальнейшем ассортимент рододендронов в городских посадках значительно расширился, так, в начале XX века в «Каталоге помологического сада и питомника ...» Э. Регеля и Я.К. Кессельринга [1914] были перечислены 15 видов и гибридов этого рода (в основном, не из Восточной Азии). Очевидно, что они выращивались в это время у дворцов вельмож и на дачных участках в окрестностях города, а после Октябрьской революции 1917 г. постепенно исчезли из посадок.

По свидетельству О.А. Связевой [2005, с. 152], в БС БИН РАН «Первые сведения о рододендронах в открытом грунте, возможно, относятся к 1816 г. Именно в каталоге этого года перечислены 7 видов рододендрона, которые впоследствии были испытаны в открытом грунте. Однако трудно утверждать, что все 7 видов в 1816 г. могли расти на питомниках, а не в оранжереях. Тем не менее 2 из включённых в каталог видов действительно постоянно представлены в коллекции парка до настоящего времени: *R. caucasicum* Pall. (?1816–2005), *R. hirsutum* L. (1816–2005)». Необходимо отметить, что речь идёт о каталоге Язона Васильевича Петрова [Petrov, 1816], который руководил Ботаническим садом Петра Великого в то время.

*Rhododendron sikangense* Fang (Ericaceae) за триста лет существования Сада ни разу здесь не испытывался и не был никогда отмечен в коллекциях открытого грунта; по крайней мере, в историческом обзоре интродуцированных видов О.А. Связевой [2005] он также отсутствует. Появление этого рододендрона в Ботаническом саду Петра Великого связано с проведением полевых исследований в сентябре 2012 г. в высокогорьях Восточного Тибета. Были собраны семена с не идентифицированного на тот момент рододендрона сикангского. Наши дальнейшие исследования на примере интродукции голосеменных с этих территорий показали, что ряд видов является зимостойкими в условиях Санкт-Петербурга [Egorov et al., 2017] и успешно может расти здесь. Это, несомненно, открывает перспективы по расширению ассортимента декоративных видов из этого региона.

Исходя из вышесказанного, нами была поставлена цель – оценить состояние выращенного из семян *Rhododendron sikangense* в Ботаническом саду Петра Великого БИН РАН и оценить его пригодность к более широкому внедрению в культуру в нашем регионе.

*Материалы и методика исследования.* В результате экспедиционной поездки, совершенной А.А. Егоровым и В.В. Бялтом в Снежные горы на Восточном Тибете в сентябре 2012 г., были собраны семена с рододендрона, идентифицированного только после цветения и образования плодов в 2022–2023 гг. Экспедиция проходила в северной части провинции Сычуань в восточной части Нгава-Тибетско-Цянского автономного округа КНР. Находки *R. sikangense* были сделаны в субальпийском поясе на горе Какашань (Kakashan) (рис. 1), входящей в состав горных хребтов Миньшань (Minshan), которая является отрогом горной системы Куньлунь. На снимке (рис. 1) лесная растительность расположена ниже по северному склону.

При проведении полевых исследований в 2012 г. были использованы следующие инструменты и методические подходы:

- GPS-навигатор Garmin GPSMAP 60CSx для определения координат и высоты над уровнем моря;

- высота кустов определялась с помощью рулетки;

- возраст определяли глазомерно с учетом ежегодных приростов на растении;

- оценку зимостойкости проводили по 5-балльной шкале Э.Л. Вольфа [1917] с нашими уточнениями, где 1 балл – растение не повреждается морозами (вполне зимостойкое), а 5 балл – растение полностью вымерзает (не зимостойкое);

- плодоношение определяли по 6-балльной шкале Н.Е. Булыгина [1979], где 0 балл – растение не плодоносит, а 5 балл – обильное плодоношение.

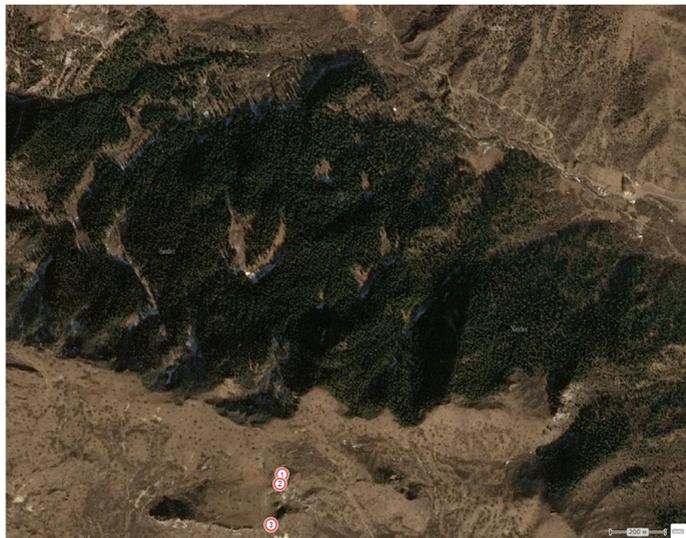


Рис. 1. Расположение находок *Rhododendron sikangense* в субальпийском поясе на горе Какашань (Восточный Тибет) на 22.10.2012.

Использован космический снимок с Яндекс.Карт; масштабная линейка приведена в нижнем правом углу. Темно-зеленый цвет – лесная растительность по склону северной экспозиции

Fig. 1. Location of *Rhododendron sikangense* finds in the subalpine belt on Mount Kakashan (Eastern Tibet) on 22.10.2012.

A satellite image from Yandex.Maps was used; the scale ruler is shown in the lower right corner. The dark green color is the forest vegetation along the slope of the northern exposure

В табл. 1 приведены сведения о выявленных местонахождениях *R. sikangense*.

Таблица 1

**Сведения о местонахождении *Rhododendron sikangense* на горе Какашань (Восточный Тибет) на 22.10.2012**

**Information about the location of *Rhododendron sikangense* on Mount Kakashan (Eastern Tibet) on 10.22.2012**

№ группы	Северная широта, град	Восточная долгота, град	Абсолютная высота, м
1	32,98461111	103,67802778	3725
2	32,98402778	103,66991667	3940
3	32,98433333	103,67000000	3935

Семена, собранные с *R. sikangense*, были посеяны в 2013 г. в дендропитомнике Ботанического сада БИН РАН на Аптекарском острове Санкт-Петербурга. При выращивании растений из семян использован опыт по выращиванию сеянцев рододендронов [Кондратович, 1981] и оригинальные разработки авторов по агротехнике с учётом опыта, накопленного специалистами дендропитомника БИН РАН с начала 1970-х гг.

На выращенных растениях *R. sikangense* в 2022 и 2023 гг. были выполнены следующие измерения:

- фенологические наблюдения выполняли по методике Н.Е. Булыгина [1979], фенологическая периодизация года принята по Н.Е. Булыгину [1982];
- оценку зимостойкости проводили по 5-балльной шкале Э.Л. Вольфа [1917] с нашими уточнениями;
- высоту растения и размеры его кроны измеряли линейкой длиной 1 м и нивелирной геодезической рейкой длиной 5 м.

Для выявления статистических закономерностей проводили математический анализ приростов за 2022 и 2023 гг. на 20 экземплярах, измеренных в 2023 г. после одревеснения побегов. Так как измерения за 2022 и 2023 гг. проводили на одном побеге, то для анализа использовался t-тест парной выборки, или зависимый t-тест выборки. Вычислялись: среднее и стандартное отклонение ( $m_1 \pm \sigma_1$ ,  $m_2 \pm \sigma_2$ ); t-критерий, который сравнивали с доверительным интервалом; эффект выборки ( $d = (m_1 - m_2) / \sigma_{12}$ ), который показывал значимость различий между  $m_1$  и  $m_2$ .

Для анализа состояния молодых растений рододендронов в БС БИН РАН привлекали некоторые климатические показатели, которые были получены на метеостанции Санкт-Петербург Северо-Западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

*Результаты исследования.* В субальпийском поясе горы Какашань из трех изученных кустарниковых групп *Rhododendron sikangense* (рис. 1, табл. 1) одна имела высоту 2,2 м, остальные – 1,0 м (табл. 2, рис. 2). Возможно, различие в высоте может быть связано с расположением кустов в разных элементах рельефа горы (табл. 1): 1 группа кустов располагается примерно на 200 м по вертикали ниже по склону, чем 2 и 3 группы (рис. 2), которые расположены уже на пологой вершине горы. Повреждений у кустов от неблагоприятных факторов зимы отмечено не было (1 балл по шкале Э.Л. Вольфа). Плодоношение (табл. 2) у 1 и 2 групп кустов отмечено достаточно высокое – хорошее (4 балл) и удовлетворительное (3 балл) соответственно. У 3 группы кустов отмечено очень слабое плодоношение (1 балл). Семена для дальнейшего испытания были собраны с 1 и 2 групп кустов.

Таблица 2

**Возраст, размеры и состояние трёх кустарниковых групп *Rhododendron sikangense* в субальпийском поясе горы Какашань (Восточный Тибет)**

**Dendrological characteristics of three shrub groups of *Rhododendron sikangense* in the subalpine belt of Mount Kakashan (Eastern Tibet)**

№ группы	Возраст, лет	Высота, м	Зимостойкость, балл	Плодоношение, балл
1	–	2,2	1	3
2	30	1	1	4
3	15	1	1	1

Примечание: “–” – отсутствуют сведения; зимостойкость – по шкале Э.Л. Вольфа [1917], где 1 балл – растение не обмерзает; плодоношение – по шкале Н.Е. Булыгина [1979], где 1 балл – очень слабое, 3 балл – удовлетворительное, 4 балл – хорошее



Рис. 2. Группа *Rhododendron sikangense* (группа №3) в природе, фотография выполнена в сторону склона. А.А. Егоров, 22.10.2012

Fig. 2. The *Rhododendron sikangense* group (group No. 3) in nature, the photo was taken towards the slope. A.A. Egorov, 22.10.2012

Семена были переданы сотрудникам дендрологической группы Ботанического сада Петра Великого в 2013 г. В основу выращивания рододендронов

из семян положена агротехника, разработанная Р.Я. Кондратовичем [1981]. Семена посеяны в плоские горшки в оранжерее 18.04.2013 г. Сверху плошки накрывались стеклом, чтобы создать оптимальный микроклимат для прорастания семян. Всходы появились приблизительно через 14 дней после посева. Пикировка сеянцев была проведена в июне 2013 г. Почвенная смесь для пикировки такая же, как и для других видов рододендронов – кислый торф, листовая земля и песок, с добавлением в субстрат мелко нарезанной сосновой хвои. В сентябре 2014 г. сеянцы были высажены в открытый грунт дендропитомника, в полутенистое место (что является обязательным условием для вечнозелёных рододендронов). На зиму растения укрывали еловым лапником, когда температура воздуха понизилась до  $-2...-4$  °С. В летнее время в засушливую погоду проводили обильный полив и опрыскивание сеянцев. В 2023 г. растения были высажены на отдельную гряду, сейчас их насчитывается 25 шт. В 2022 г. у одного экземпляра впервые отмечено цветение и плодоношение, в возрасте 9 лет. Цветение повторилось в 2023 г. (рис. 3).



Рис. 3. Цветение *Rhododendron sikangense* в Ботаническом саду Ботанического института РАН. Г.А. Фирсов, 17.06.2023

Fig. 3. Flowering of *Rhododendron sikangense* in the Botanical garden of the Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences. G.A. Firsov, 17.06.2023

Растения оказались зимостойкими: зимуют выше уровня снегового покрова, обмерзание отсутствует (рис. 4а, б). Они рано оканчивают рост побегов, рано закладываются верхушечные почки. Эти рододендроны относятся к самым позднецветущим рододендронам в коллекции БИН РАН, цветут вместе с *R. brachycarpum* D. Don ex G. Don, *R. × myrtifolium* Lodd., *R. viscosum* (L.) Torr. на феноэтапах начало лета (подэтап 2) – полное лето (подэтап 1) – ПЛ1; индикатором окончания подсезона «Начало лета» и начала подсезона «Полное лето» является зацветание *Tilia platyphyllos* Scop., которая в 2023 г. зацвела 22 июня.



(а)



(б)

Рис. 4. *Rhododendron sikangense* в дендропитомнике Ботанического института РАН: а – летом (29.06.2023); б – зимой (05.02.2024). А.А. Егоров, А.А. Логинова

Fig. 4. *Rhododendron sikangense* at the arboretum of Botanical Institute of the RAS: а – summer (29.06.2023); б – winter (05.02.2024). А.А. Egorov, А.А. Loginova

Экземпляры рододендрона сикангского в количестве 25 шт. в возрасте 10 лет в Санкт-Петербурге характеризуются следующими размерами (измерения 03.07.2023 г.): средняя высота – 64 см, минимальная – 35 см, максимальная – 81 см; размер кроны у кустовидных форм  $39 \times 35 \dots 105 \times 72$  см<sup>2</sup>, у древовидных –  $40 \times 35 \dots 73 \times 70$  (75×61) см<sup>2</sup>. По форме роста выделили три варианта:

- дерево – 4 экз.;
- дерево, ветвящееся сразу выше корневой шейки – 7 экз.;
- куст – 14 экз.

В табл. 3 приводятся измерения на 2023 г. длин приростов *R. sikangense* в дендропитомнике Ботанического института РАН за 2022 и 2023 гг.

Таблица 3

**Длина приростов (в см) *Rhododendron sikangense* в дендропитомнике  
Ботанического института РАН за 2022 и 2023 гг. (n=20)**

**The length of the increments (in cm) of *Rhododendron sikangense*  
on the arboretum of the Botanical Institute RAS for 2022 and 2023 (n=20)**

Год	Порядковый номер измерения																				m±σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2022	6	10	14	8	5	9	9	13	12	4	11	11	11	7	5	8	6	8	9	9	8,8±2,8
2023	9	3	4	5	6	5	2	2	2	2	7	5	4	3	6	9	3	7	5	5	4,7±2,2

*Примечание:* измерения проведены в 2023 г. после одревеснения побегов

Статистический анализ 20 измерений длин приростов за 2022 и 2023 гг. показал, что они существенно отличаются друг от друга:

- p-value (0,0001833) < α (0,05);
- t-критерий = -4,6285 не находится в доверительном интервале при 95% [-2,093...+2,093];
- размер эффекта (d=1,03) велик. Это указывает на то, что величина разницы между средним значением различий и ожидаемым средним значением различий велика.

Большинство растений (14 экз. или 56%) представлено жизненной формой кустарника, образуют несколько стволиков от поверхности земли. Жизненной формой дерева представлены 44% особей. При этом некоторые из них ветвятся почти сразу, чуть выше корневой шейки.

Прирост побегов 2023 г. (табл. 3) составляет в среднем 4,7 см (от 2 до 9 см). При этом во многих случаях прирост боковых побегов больше прироста верхушечного побега. Верхушка кроны как таковая у многих особей не выражена (обычно она неправильной формы, полукруглая или почти плоская). Если мы сравним это с приростом побегов предыдущего, 2022 г. (табл. 3), то прирост в 2022 г. оказывается заметно больше, в среднем 8,8 см (от 5 до 14 см).

Различие в длинах побегов можно предварительно объяснить влажностью в период их роста. Период роста побегов приходится преимущественно на май. Если сравнить (табл. 4) тепло-влагообеспеченность периодов роста побегов рододендрона сикангского в мае 2022 и 2023 гг., то по данным метеостанции Санкт-Петербург май 2022 г. был на 2° холоднее и более влажным (количество осадков 24 и 17 мм соответственно). В 2022 г.

максимальное количество осадков (17 мм) пришлось на вторую декаду мая (оптимальные сроки роста побегов после разверзания почек и начала вегетации), в то время как во второй декаде мая в 2023 г. выпало всего 3 мм осадков. Май 2023 г., особенно его вторая декада, был более тёплым и сухим. Очевидно, достаточное увлажнение и снабжение атмосферной влагой являются важным фактором для сроков окончания роста побегов и заложения верхушечных почек.

Таблица 4

**Тепло-влажнообеспеченность в мае 2022 и 2023 г. в Санкт-Петербурге в период роста побегов *Rhododendron sikangense***

**Heat and moisture availability in May 2022 and 2023 in St. Petersburg during the period of growth of *Rhododendron sikangense* shoots**

Метеопозказатели	Май 2022 г.	Май 2023 г.
T° воздуха, 1 декада	8,4	7,1
T° воздуха, 2 декада	9,4	14,0
T° воздуха, 3 декада	12,1	14,6
T° воздуха, месяц	10,0	12,0
Осадки (мм), 1 декада	4	8
Осадки (мм), 2 декада	17	3
Осадки (мм), 3 декада	3	6
Осадки (мм), месяц	24	17

Температура воздуха в зиму 2022/23 г. понижалась до  $-17,3^{\circ}$ , что никак не повлекло за собой повреждение почек и побегов рододендрона сикангского. Очевидно, что современный климат Санкт-Петербурга он выдерживает и вполне морозоустойчив.

Для профилактики и повышения устойчивости к фитофторе весной и летом корневую систему проливали хитозаном (50 мл на 10 л воды), а также посыпали корневую систему препаратом Глиокладин, который защищает растения от корневых и прикорневых гнилей.

Главный ствол у рододендрона часто искривлён. В среднем его диаметр равен 2 см у корневой шейки. Кора текущего года (2023 г.) голая, зелёного цвета, прошлогодняя – красно-коричневая, более старая – серая. Листья до 10–14 см длиной, голые, остроконечные, тёмно-зелёные, цель-

нокрайние, с немного загнутыми вовнутрь краями, с клиновидным основанием, около 14 пар боковых жилок. На побегах держатся листья только двух лет, этого и прошлого года, на более старых побегах листьев нет.

*Обсуждение.* *Rhododendron sikangense* оказывается крайне редким для культурной флоры России и для Европы. Так, он отсутствует в справочнике А. Rehder [1949], так как был описан в 1952 г. Он не включён в обзор рододендронов, культивируемых в СССР в известном издании «Деревья и кустарники СССР» [Поветико, 1960], не входит в справочник по древесным интродуцентам Европы W.J. Bean [1976]. В работе [The Hillier..., 2003, p. 279] ему дают следующую краткую характеристику (перевод с англ.): «... *sikangense* Fang (Subgenus *Hymenanthes*, Subsect. *Maculifera*). Крупный кустарник, иногда небольшое дерево, молодые побеги покрыты редкими белыми волосками, позже становятся голыми. Листья темно-зеленые, с рельефным жилкованием сверху, до 10 см длиной, снизу голые. Цветки колокольчатые, до 4 см длиной, фиолетовые, с красными пятнами у основания и пурпурными пятнышками, раскрываются пучками до 10 штук. Май и июнь. Юго-западный Сычуань». Однако здесь не указывается наличие этого вида в Соединённом Королевстве и год его интродукции. По данным сайта GBIF.org живые растения *R. sikangense* выращиваются в 2 ботанических садах мира [Rhododendron..., 2024]: Bergius botanical garden (Стокгольм, Швеция) и University of British Columbia (Канада). Нам не удалось выяснить, когда это растение пополнило коллекции этих садов и каково его современное состояние.

Найденный нами *R. sikangense* в природе на безлесном склоне в горах Сычуаня на высотах 3725–3940 м н.у.м. соответствует его распространению по Flora of China [Fang et al., 2005], в которой указано нахождение вида в западной части провинции Сычуань на высотах 2800–4500 м н.у.м., в т.ч. на горных склонах. Приводится информация, что вид может быть встречен в смешанных лесах и зарослях кустарников. По Flora of China [Fang et al., 2005] рододендрон сикангский представляет собой кустарник или небольшое дерево, высотой до 3–5 м в благоприятных условиях. Наши наблюдения в высокогорьях выше границы леса показывают, что его высота может достигать в более защищенных местах 2,2 м, а на открытых местах – до 1 м.

*Заключение.* Рододендрон сикангский (*Rhododendron sikangense* Fang) выращивается в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН в Санкт-Петербурге с 2013 г., семена привезены из природных условий Китая, из высокогорных районов провинции

Сычуань. Это первое введение в культуру вида в Санкт-Петербурге за три века интродукции. Первое цветение и плодоношение отмечено в 2022 г. За 10 лет наблюдений (2014–2023 гг.) вид показал себя зимостойким (I группа по шкале Э.Л. Вольфа). В условиях Ботанического сада в возрасте 10 лет он представляет собой вечнозелёный кустарник или дерево до 0,81 м высоты. В соответствии с данными из природных условий вид имеет потенциал роста до 3–5 м в высоту. Он показал себя как очень декоративный кустарник, особенно в цветении, и представляет интерес для более широкой культуры и озеленения Санкт-Петербурга. Задачи ближайшего будущего – размножить рододендрон сикангский и, возможно, внедрить его в городское озеленение. Для успешного выращивания необходимо соблюдать агротехнику и правила ухода.

*Сведения о финансировании* исследования. Полевые работы выполнены при поддержке Ямало-Ненецкого автономного округа (госконтракт № 01-15/4 от 25.07.2012). Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме «История создания, состояние, потенциал развития живых коллекций растений Ботанического сада Петра Великого БИН РАН» №124020100075-2 и в рамках государственного задания ИЛАН РАН (тема № FMFM–2023-0001).

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Булыгин Н.Е.* Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: Изд-во ЛТА, 1979. 97 с.

*Булыгин Н.Е.* Биологические основы дендрофенологии. Л.: Изд-во ЛТА, 1982. 80 с.

*Вольф Э.Л.* Наблюдения над морозостойкостью деревянистых растений // Труды бюро по прикл. бот. 1917. Т. 10, № 1. С. 1–146.

*Кондратович В.Я.* Рододендроны в Латвийской ССР: Биологические особенности культуры. Рига: Зинатне, 1981. 332 с.

*Полетико О.М.* Сем. 88. Вересковые – Ericaceae DC. // Деревья и кустарники СССР. Т. 5. М.; Л., 1960. С. 239–352.

*Регель Э., Кессельринг Я.К.* Каталог Помологического сада и питомников для акклиматизации плодовых декоративных деревьев, кустарников и многолетних растений. СПб., 1914. № 48. 98 с.

*Связева О.А.* Деревья, кустарники и лианы парка Ботанического сада Ботанического института им. В.Л. Комарова (К истории введения в культуру). СПб.: Росток, 2005. 384 с.

*Bean W.J.* Trees and Shrubs Hardy in the British Isles. 8th ed. (2nd revised), vol. 3. London: John Murray, 1976. 973 p.

Egorov A., Afonin A., Byalt V., Orlova L., Vasiliev N. The gymnosperm trees of highlands of East Asia and its perspective for introduction at Saint Petersburg (Russia) // Abstract book II. Poster and Abstract: XIX International Botanical Congress. Shenzhen, 2017. P. 14–15.

Fang M.-G., Fang R.-Zh., He M.-G., Hu L.-Zh., Hanbi Yang H.-B., Qin H.-N., Min T.-L., Chamberlain D.F., Stevens P., Wallace G.D., Anderberg A. Rhododendron / Ericaceae // Flora of China. 2005. Vol. 14 (2). P. 260–455.

The Hillier Manual of Trees and Shrubs. Frome: David and Charles, 2003. 512 p.

Petrow J. Index Plantarum horti imperatoriae medico-chirurgicae academiae, quas secundum Synopsin Persoonii, in systematicum ordinem redegit Jason Petrow, Doctor M. atque Botanices et Pharmacologiae Prof. P.O. Petropoli. In Typographia Imperatoria, 1816. 216 p.

Rehder A. Manual of Cultivated Trees and Shrubs Hardy in North America. 2d ed. New York: The MacMillan Company, 1949. 1996 p.

Rhododendron sikangense: GBIF Occurrence. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/download/0035250-240506114902167> (дата обращения: 05.03.2024). DOI: 10.15468/dl.adq2c5.

## References

Bean W.J. Trees and Shrubs Hardy in the British Isles. 8th ed. (2nd revised), vol. 3. London, 1976. 973 p.

Bulygin N.E. Biological foundations of dendrophenology. Leningrad: Publishing house LTA, 1982. 80 p. (In Russ.)

Bulygin N.E. Phenological observations of woody plants. Leningrad: Publishing house LTA, 1979. 97 p. (In Russ.)

Egorov A., Afonin A., Byalt V., Orlova L., Vasiliev N. The gymnosperm trees of highlands of East Asia and its perspective for introduction at Saint Petersburg (Russia). *Abstract book II. Poster and Abstract: XIX International Botanical Congress. Shenzhen, 2017*, pp. 14–15.

Fang M.-G., Fang R.-Zh., He M.-G., Hu L.-Zh., Hanbi Yang H.-B., Qin H.-N., Min T.-L., Chamberlain D.F., Stevens P., Wallace G.D., Anderberg A. Rhododendron / Ericaceae. *Flora of China*, 2005, vol. 14 (2), pp. 260–455.

The Hillier Manual of Trees and Shrubs. Frome: David and Charles, 2003. 512 p.

Kondratovich V.Ya. Rhododendrons in the Latvian SSR: Biological features of the culture. Riga: Zinatne, 1981. 332 p. (In Russ.)

Petrow J. Index Plantarum horti imperatoriae medico-chirurgicae academiae, quas secundum Synopsin Persoonii, in systematicum ordinem redegit Jason Petrow, Doctor M. atque Botanices et Pharmacologiae Prof. P.O. Petropoli. In Typographia Imperatoria, 1816. 216 p.

Poletiko O.M. Fam. 88. Ericaceae DC. *Trees and shrubs of the USSR*. Vol. 5. Moscow; Leningrad, 1960, pp. 239–352. (In Russ.)

Regel E., Kesselring Y.K. Catalog of Pomological gardens and nurseries for the acclimatization of ornamental fruit trees, shrubs and perennial plants. St. Petersburg, 1914. 98 p. (In Russ.)

Rehder A. Manual of Cultivated Trees and Shrubs Hardy in North America. 2d ed. New York: The MacMillan Company, 1949. 1996 p.

Rhododendron sikangense: GBIF Occurrence. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/download/0035250-240506114902167> (accessed 05.03.2024) DOI: 10.15468/dl.adq2c5.

Svyazeva O.A. Trees, shrubs and vines in the park of the Botanical Garden of the Botanical Institute. V.L. Komarova (On the history of introduction to culture). St. Petersburg: Rostock, 2005. 384 p. (In Russ.)

Wolf E.L. Observations on the frost resistance of woody plants. *Proceedings of the Bureau of Applied Sciences on Botany*, 1917, vol. 10, no. 1, pp. 1–146. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 18.03.2024

---

**Бялт В.В., Егоров А.А., Волчанская А.В., Логинова А.А., Фирсов Г.А.** Рододендрон сикангский (*Rhododendron sikangense* Fang) – новый вид рододендрона для Санкт-Петербурга // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 100–114. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.100-114

Рододендрон сикангский (*Rhododendron sikangense* Fang) из сем. Ericaceae выращивается в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН в Санкт-Петербурге с 2013 г., семена привезены из природных условий Китая, из высокогорных районов провинции Сычуань с более 3700 м н.у.м. Это первое введение в культуру этого вида здесь за три века интродукции. Первое цветение и плодоношение отмечено в 2022 г. в 9-летнем возрасте. За 10 лет наблюдений (2014–2023 гг.) вид показал себя зимостойким (I группа по шкале Э.Л. Вольфа). В условиях Ботанического сада в возрасте 10 лет он представляет собой вечнозелёный кустарник или дерево до 0,81 м высоты. В соответствии с данными из естественного ареала вид имеет потенциал роста в оптимальных условиях до 3–5 м в высоту. Он показал себя как очень декоративный кустарник, особенно в цветении, и представляет интерес для более широкой культуры и озеленения Санкт-Петербурга. Задачи ближайшего будущего – размножить рододендрон сикангский и возможно внедрить его в городское озеленение. Для успешного выращивания необходимо соблюдать агротехнику и правила ухода, разработанные в Ботаническом саду с учетом мировой практики.

Ключевые слова: Ericaceae, *Rhododendron sikangense*, Санкт-Петербург, высокогорья Восточного Тибета, интродукция, зимостойкость.

**Byalt V.V., Egorov A.A., Volchanskaya A.V., Loginova A.A., Firsov G.A.** Sikang's rhododendron (*Rhododendron sikangense* Fang) – new species of rhododendron for Saint-Petersburg. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnickeskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 100–114 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.100-114

Sikang's rhododendron (*Rhododendron sikangense* Fang) from family Ericaceae is cultivated at Peter the Great Botanic Garden of the V.L. Komarov Botanical Institute RAS at Saint-Petersburg since 2013 г. Its seeds were received directly from natural conditions of China, from highlands of Sichuan province, from elevation higher than 3700 m. This was the first introduction of this species during 3 centuries of arboriculture at this place. The first flowering and fruiting was observed in 2022, under the age of 9 years old. The species happened to be quite winter hardy during 10 years of observations (2014–2023), according to the Egbert Wolf's scale. In conditions of Peter the Great Botanic Garden this is evergreen shrub or tree up to 0,81 m high on the age 10 years. Taking in mind its sizes in optimal conditions in the wild, it can reach 3–5 m high. It develops itself as very decorative shrub, especially during flowering season. The species is of interest for further cultivation and city planting of Saint-Petersburg. The task of the nearest future is to propagate the Sikang's rhododendron and to introduce it to the city planting. For successful growing the right agrotechnics should be used. Such agrotechnical measures are developed and elaborated at Peter the Great Botanic Garden, using the experience of international practice.

**Key words:** Ericaceae, *Rhododendron sikangense*, Saint-Petersburg, highlands of Eastern Tibet, arboriculture, winterhardiness.

---

**БЯЛТ Вячеслав Вячеславович** – старший научный сотрудник Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН (БИН РАН). ORCID: 000-0002-2529-4389. SPIN-код: 4926-1668. Web of Science ResearcherID: J-3539–2018. Scopus AuthorID: 18036785700.

197376, ул. Проф. Попова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: byalt66@mail.ru, VByalt@binran.ru

**BYALT Vyacheslav V.** – Senior Researcher at the Komarov Botanical Institute of RAS. ORCID: 000-0002-2529-4389. SPIN-code: 4926-1668. Web of Science ResearcherID: J-3539–2018. Scopus AuthorID: 18036785700.

197376. Prof. Popova str. 2. St. Petersburg. Russia. E-mail: byalt66@mail.ru, VByalt@binran.ru

**ЕГОРОВ Александр Анатольевич** – старший научный сотрудник Института лесоведения РАН (ИЛАН РАН). ORCID: 0000-0002-1800-0389. SPIN-код: 9864-2862. Web of Science ResearcherID: B-1381–2014. Scopus AuthorID: 57218272393.

143030, Советская ул., д. 21, п/о Успенское, Московская обл., Россия. E-mail: egorovfta@yandex.ru

**EGOROV Aleksandr A.** – Senior Researcher at the Institute of Forestry Sciences, Russian Academy of Sciences (IFS RAS). ORCID: 0000-0002-1800-0389. SPIN-code: 9864-2862. Web of Science ResearcherID: B-1381–2014. Scopus AuthorID: 57218272393.

143030. Sovetskaya str. 21. Uspenskoye. Moscow Region. Russia. E-mail: egorovfta@yandex.ru

**ВОЛЧАНСКАЯ Александра Владимировна** – ведущий агроном с высшим образованием Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН (БИН РАН). SPIN-код: 5806-1974. Web of Science ResearcherID: AAU-2413–2021. Scopus AuthorID: 56507267400.

197376, ул. Проф. Попова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sandalet@mail.ru

**VOLCHANSKAYA Aleksandra V.** – Leading agronomist with higher education at the Komarov Botanical Institute of RAS. SPIN-code: 5806-1974. Web of Science ResearcherID: AAU-2413–2021. Scopus AuthorID: 56507267400.

197376. Prof. Popova str. 2. St. Petersburg. Russia. E-mail: sandalet@mail.ru

**ЛОГИНОВА Александра Андреевна** – старший лаборант-исследователь с высшим образованием Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН (БИН РАН).

197376, ул. Проф. Попова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lusikss.com@mail.ru

**LOGINOVA Aleksandra A.** – Senior research assistant with higher education at the Komarov Botanical Institute of RAS.

197376. Prof. Popova str. 2. St. Petersburg. Russia. E-mail: lusikss.com@mail.ru

**ФИРСОВ Геннадий Афанасьевич** – старший научный сотрудник Ботанического института имени В.Л. Комарова РАН (БИН РАН). ORCID: 0000-0002-6611-5199. SPIN-код: 1681-2576. Scopus AuthorID: 18037310700.

197376, ул. Проф. Попова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gennady\_firsov@mail.ru

**FIRSOV Gennady A.** – Senior Researcher at the Komarov Botanical Institute of RAS. ORCID: 0000-0002-6611-5199. SPIN-code: 1681-2576. Scopus AuthorID: 18037310700.

197376. Prof. Popova str. 2. St. Petersburg. Russia. E-mail: gennady\_firsov@mail.ru

**Е.Е. Лукашик, Е.А. Лукашик, А.С. Алексеев**

**ТИПОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОХОТНИЧЬИХ УГОДИЙ  
КЛЮЧЕВОЙ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ  
«ОЗЕРО ИЛЬМЕНЬ И ОКРЕСТНОСТИ»  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

*Введение.* Природопользование имеет длительную и насыщенную историю, сформированную человеческой деятельностью. При этом большинство насущных проблем, с которыми сталкивается человечество, прямо или косвенно связано с экологией и природопользованием. С учетом развития процесса индустриализации и урбанизации, роста численности населения и, как следствие, роста потребления различной продукции, для производства которой необходимы лесные, сельскохозяйственные, земельные ресурсы, во многих регионах мира сфера природопользования ожидаемо стала нуждаться в рациональной интенсификации. Этот факт известен еще с XX века, а в конце 1950-х гг. уже были заложены принципы рационального природопользования [Рациональное..., 2012].

Интенсификация основывается на применении более эффективных средств и оптимизации процессов. XXI столетие по праву считается периодом развития прорывных технологий в области цифровой трансформации различных отраслей экономической деятельности. При этом значительное влияние на процесс цифровизации отраслей, в том числе и на сферу природопользования, оказывают такие сквозные технологии, как искусственный интеллект и большие данные, дистанционное зондирование Земли, беспилотные авиационные системы. Синергия данных технологий и фундаментальных принципов рационального природопользования является одним из важнейших звеньев цепочки, позволяющей приблизиться к действительно оптимальной эксплуатации природных ресурсов и равновесию в отношениях «человек-природа».

Биологическое природопользование, к которому относится охотничье хозяйство, должно основываться на принципе возобновляемости ресурсов и естественном воспроизводстве: изъятие охотничьих ресурсов не должно превышать их прироста [Винобер, 2019]. При этом адекватно оценивать числен-

ность охотничьих ресурсов и планировать мероприятия для поддержания оптимальной численности невозможно без оценки их среды обитания. Данное обстоятельство подтверждается как ведущими исследователями в области охотничьего хозяйства, так и рядом нормативно-правовой документации, регламентирующей добычу охотничьих ресурсов и порядок охотустроительных работ [Черкаев и др., 2000; Сухомиров, 2017]. Большое значение имеет качественное проведение оценки среды обитания охотничьих ресурсов на территориях, ценных с точки зрения биологического разнообразия и с особым природоохранным статусом. При этом оценка среды обитания охотничьих ресурсов вполне успешно может базироваться на результатах геоинформационного анализа данных дистанционного зондирования Земли.

*Объект и методика исследования.* Объектом исследования являлась ключевая орнитологическая территория (КОТР) международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» общей площадью 190950 га, расположенная на территории Новгородской области. Границы КОТР (рис. 1) входят в границы водно-болотного угодья «Озеро Ильмень и дельты рек Мста, Ловать, Шелонь», внесённого в Перспективный список Рамсарской конвенции [Каменнова, 2010; Водно-болотные..., 2025].

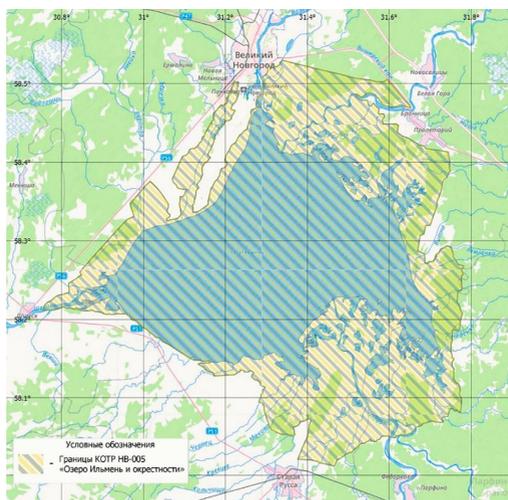


Рис. 1. Граница КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» [ЛВПЦ..., 2025]

Fig. 1. Border of KOA of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain» [LVPC..., 2025]

Ключевые орнитологические территории представляют собой территории, которые за счет совокупности ландшафтных и климатических характеристик имеют важнейшее значение для птиц и являются местом остановок на пролете, зимовки, гнездования и линьки. Выделение КОТР является достаточно эффективной мерой территориальной охраны различных видов птиц.

Из всех шести выделяемых в Новгородской области КОТР данная территория является наиболее ценной, в том числе и в качестве водно-болотного угодья [Мищенко, 2000]. В границы объекта исследования входит 13 охотничьих хозяйств.

Материалами для исследования являлись результаты анализа научных работ отечественных и зарубежных ученых в направлении применения данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий в практике охотустроительного проектирования. В ходе проведенного исследования апробирована методика отбора эталонных участков с помощью применения беспилотных авиационных систем (БАС) для обучения алгоритмов классификации космических снимков и оценки точности получаемых результатов, а также применены некоторые из актуальных методов автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования Земли (данных ДЗЗ) и геоинформационного анализа, что послужило основой для разработки технологии комплексного применения космической съемки, БАС и геоинформационных систем для типологической оценки элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Работа с геопространственными данными проводилась с учетом общепринятых принципов геоинформатики и требований регламентирующих документов, таких как «ГОСТ Р 50828–95 Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования», «ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования», «ГОСТ Р 59079–2020 Данные дистанционного зондирования земли из космоса. Типы данных дистанционного зондирования Земли из космоса».

Типологическая классификация элементов среды обитания охотничьих ресурсов основывалась на требованиях действующего Приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31 августа 2010 года №335 (с изменениями на 29 августа 2018 года) «Об утверждении порядка составления схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации, а также требований к ее составу и структуре».

Для каждого из классов среды обитания охотничьих ресурсов, по которым проводилась оценка, были отобраны эталонные участки на основе лесоустроительных материалов (таксационных описаний и планов лесных насаж-

дений), а также на основе результатов дешифрирования геопривязанных космических снимков высокого разрешения, полученных с картографических сервисов Яндекс и Google в программном обеспечении SAS.Planet. При отборе эталонных участков учитывались особенности построения маршрутов полета используемых беспилотных воздушных судов (БВС) самолетного типа Geoscan Lite и мультироторного типа DJI Phantom 4 Pro V2.0. Построение полетных заданий для проведения аэрофотосъемки эталонных участков (АФС) выполнялось в программном обеспечении Geoscan Planner и DJI Pilot; пример одного из таких полетных заданий представлен на рис. 2.

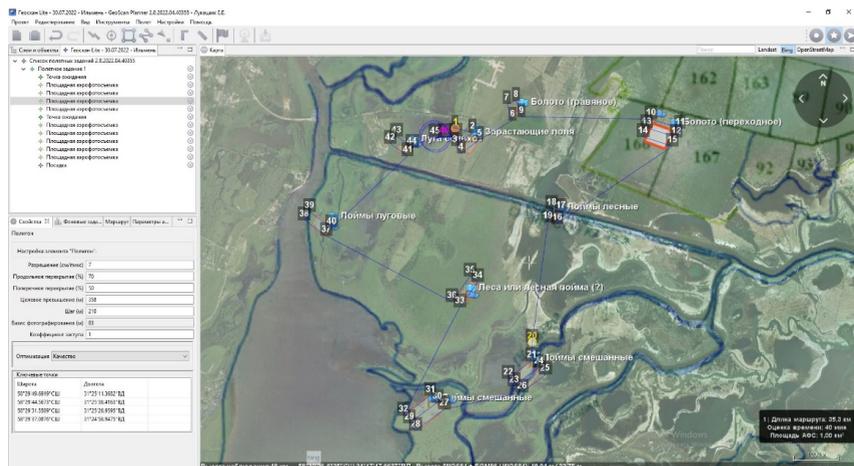


Рис. 2. Построение полетного задания для БВС самолетного типа Geoscan Lite в программном обеспечении Geoscan Planner общей протяженностью маршрута 35,3 км и площадью АФС 100 га

Fig. 2. Construction of a flight task for the UAV aircraft type Geoscan Lite in the software Geoscan Planner with total route length of 35,3 km and area of 100 ha

Аэрофотосъемка эталонных участков производилась на съемочные системы БВС Sony A6000 20mm f/2/8 и DJI Gimbal Camera 24mm f/2.8. Для определения координат центров фотографирования в системе координат WGS-84 использовались бортовые навигационные приемники; точность определения координат в плане не хуже 1,0 м, ошибка по высоте не более 0,8 м. Фотограмметрическая обработка материалов аэрофотосъемки по представленной на рис. 3 технологической схеме проводилась в программном обеспечении Agisoft Metashape Pro. Пространственное разрешение полученных цифровых моделей местности и ортофотопланов составило от 14 до 28 см/пикс и от 4 до 7 см/пикс соответственно.



Рис. 3. Технологическая схема работы с материалами аэрофотосъемки, полученными с помощью БВС, в программном обеспечении Agisoft Metashape Pro

Fig. 3. Schematic of working with aerial photography materials obtained with the help of UAV in the software Agisoft Metashape Pro

Для определения признаков классов среды обитания охотничьих ресурсов, относящихся к молоднякам и кустарникам (территории, покрытые кронами древесной и древесно-кустарниковой растительности более чем на 20% площади и с высотой растений до 5 м), пойменным комплексам с преобладанием леса, смешанным лесным и кустарниковым пойменным комплексам использовались цифровые модели местности эталонных участков, полученные по результатам фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки в программном обеспечении Agisoft Metashape

Pro (рис. 4). На цифровой модели местности определялись высоты древесных и древесно-кустарниковых растений путем построения профилей, секущих местность вертикальной плоскостью, а также занимаемая древесными и древесно-кустарниковыми растениями площадь.

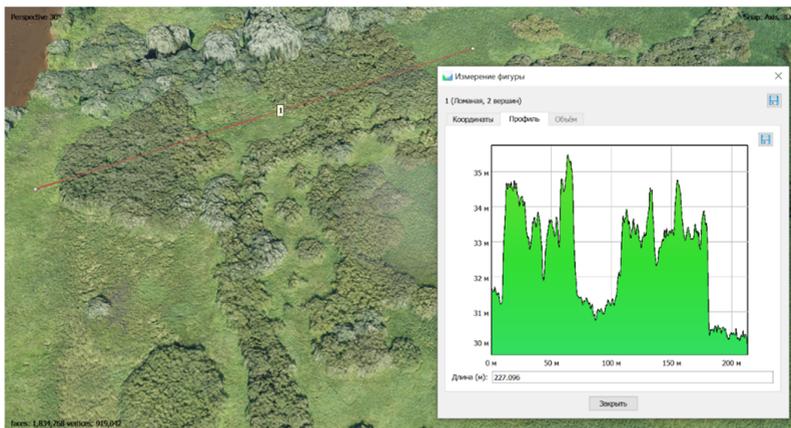


Рис. 4. Работа с цифровыми моделями местности для определения высот древесных и древесно-кустарниковых растений в программном обеспечении Agisoft Metashape Pro

Fig. 4. Working with digital terrain models to determine the height of tree and woody shrub plants in Agisoft Metashape Pro software

Эталонные участки для классов среды обитания охотничьих ресурсов, входящих в категории «Леса», «Молодняки и кустарники», «Болота», преимущественно отбирались на основе лесостроительных материалов. Для оптимизации отбора обозначенных эталонных участков применялся программный комплекс лесостроительного проектирования и лесного планирования WinPlr 4.0 с информационными базами данных непрерывного лесоустройства 2019–2021 гг. Отбор основывался на использовании элементов условия «Функции» и «Составляющие породы» с указанием искомого породного состава и средней высоты древостоя. В качестве хвойных пород на территории объекта исследования представлены ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), мелколиственных – преимущественно береза (*Betula* sp.) и осина обыкновенная (*Populus tremula* L.). Видовой состав кустарников достаточно разнообразен и представлен преимущественно ивой прутовидной (*Salix viminalis* L.), ивой пурпурной (*Salix purpurea* L.), ивой трёхтычинковой (*Salix triandra* L.), ивой белой (*Salix alba* L.) и др.

Эталонные участки для классов среды обитания охотничьих ресурсов, входящих в категорию «Сельскохозяйственные угодья», отобраны как по

результатам аэрофотосъемки с БВС, так и по результатам дешифрирования космических снимков. Преобразованные и поврежденные (нарушенные антропогенной деятельностью) участки, а также территории, непригодные для ведения охотничьего хозяйства, отбирались на основе векторных слоев категории «Землепользование» сервиса OpenStreetMap (OSM).

Для типологической классификации объекта исследования использовались снимки с искусственного спутника Земли (ИСЗ) Sentinel-2 L2A с проведенной атмосферной и геометрической коррекцией через сервис Sentinel Hub EO Browser. Даты съемки – зимний период (22.02.2023 г.), весенний период (20.04.2023 г.), летний период (06.08.2023 г.), облачность от 1,0% до 2,0% на квадрат съемки 36VUK MGRS location, координаты центра объекта исследования 58°16' с.ш. 31°23' в.д., пространственное разрешение – 10 м/пикс. Комбинация каналов космического снимка с ИСЗ Sentinel-2 L2A сформирована из B08 (ближний инфракрасный – БИК), B04 (красный – К), B02 (зеленый – З). Дешифрирование объектов в данной комбинации каналов основывалось на принципах интерпретации, отраженных в литературных источниках [Шихов и др., 2020] и тематических электронных ресурсах «Географические информационные системы и дистанционное зондирование GIS-Lab» [Географические..., 2025].

В качестве алгоритма автоматизированной классификации был выбран Random Forest [Дергунов и др., 2024; Breiman, 2001] или алгоритм «случайного леса», реализованный на базе плагина dzetsaka: classification tool и Python-библиотеки scikit-learn в программном обеспечении QGIS [GitHub dzetsaka, 2025; Scikit-learn..., 2025]. Данный универсальный алгоритм машинного обучения построен на ансамбле решающих деревьев из исходной обучающей выборки, при этом проводится классификация итоговых вариантов по коэффициенту Каппа. Алгоритм Random Forest реализует оценку «меры важности» определенного признака для классификации. Формула итогового классификатора представлена ниже:

$$\hat{f}_{rf}^B(x) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(x), \quad (1)$$

где B – количество деревьев; b – счетчик для деревьев; T – решающее дерево; x – сгенерированная выборка.

Прогноз случайного леса для классификации принимается решением голосования по большинству, спрогнозированный класс b-го бутстрапированного дерева равен:

$$\hat{C}_{rf}^B(x) = \text{majority vote} \left[ \hat{C}_b(x) \right]_1^B. \quad (2)$$

В реализации Python-библиотеки `scikit-learn` максимальное число признаков для классификации `max_features` принимается функцией  $\sqrt{n}$  – квадратный корень числа всех признаков в наборе данных; для задач регрессии  $n/3$ . При этом для оценки достоверности результатов автоматизированной классификации формировалась матрица ошибок с разделением обучающей выборки на эталонные и контрольные участки в соотношении 50% на 50%.

*Результаты исследования.* Для проведения автоматизированной классификации в среде QGIS была сформирована геоинформационная система по объекту классификации КОТР НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности», включающая в себя следующее послойное размещение в границах объекта исследования растровых и векторных изображений: границы объекта исследования, планы лесных насаждений, категории «Землепользование» сервиса OSM, ортофотопланы эталонных участков, ортофотопланы контрольных участков, границы эталонных и контрольных участков, цифровая модель рельефа SRTM GL1 (30 м), маски пойменных комплексов и водных объектов, лесов, сельскохозяйственных угодий, RAW-растры космических снимков с ИСЗ Sentinel-2 L2A и виртуальные скомбинированные растры космических снимков с ИСЗ Sentinel-2 (каналы БИК-К-3).

Для повышения достоверности результатов классификации использовались маски пойменных комплексов и водных объектов, лесов, сельскохозяйственных угодий. Маска пойменных комплексов сформирована на основе цифровой модели рельефа SRTM GL1 (30 м), а также границ территорий, затопляемых в период половодья водотоков, находящихся между минимальным и максимальным урезами воды, определенными по космическим снимкам с ИСЗ Sentinel-2 L2A за весенний и летний период. Наивысший уровень воды наблюдается в конце апреля – начале мая. В июле, августе и сентябре озеро сильно мелеет, наблюдается межень. В поймах озера Ильмень и рек, впадающих в озеро, затопление наблюдается до участков высотой 24 м относительно уровня моря [Нехайчик, 1975; Жекулин, 1979]. Маска лесов сформирована на основе границ земель лесного фонда, а маска сельскохозяйственных угодий – методом исключения из общей обследуемой территории пойменных комплексов и лесов. Композиты космических снимков с ИСЗ Sentinel-2 L2A за зимний и летний периоды использовались для более точного разделения хвойных, смешанных и мелколиственных лесов. Использование масок при проведении процесса автоматизированной классификации позволяет снизить количество ошибочно классифицируемых пикселей [Yang et al., 2009; Whiteside et al., 2011; Pan et al., 2021].

Для автоматизированной классификации охотничьих угодий с помощью алгоритма Random Forest на территории объекта исследования были отобраны 53 эталонных участка для пойменных комплексов и водных объектов, 25 – для лесов и 20 – для сельскохозяйственных угодий. Полученные по итогу классификации растры были объединены и векторизованы. Результат в виде карты-схемы элементов среды обитания охотничьих угодий представлен на рис. 5.

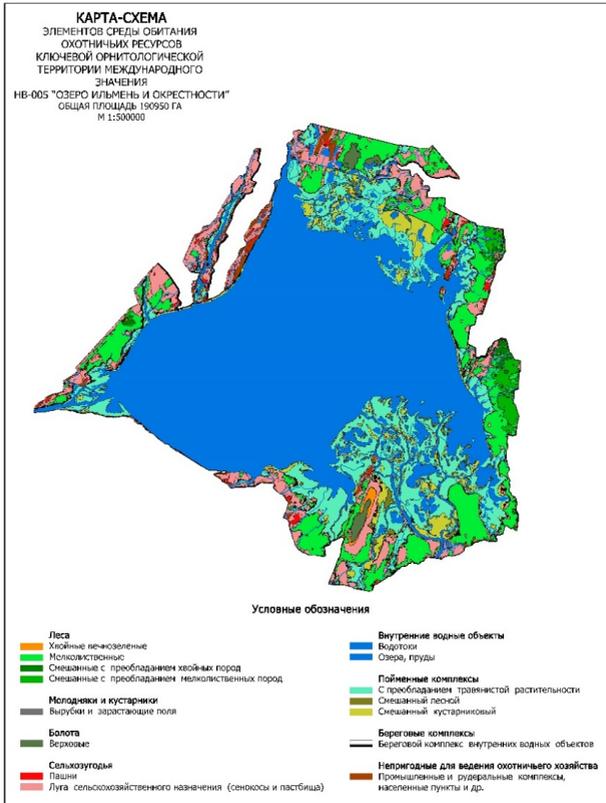


Рис. 5. Карта-схема элементов среды обитания охотничьих ресурсов КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности»

Fig. 5. Schematic map of the habitat elements of hunting resources KOA of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain»

Распределение площади объекта исследования по классам среды обитания охотничьих ресурсов представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Элементы среды обитания охотничьих ресурсов на территории КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности»**

**Elements of the habitat of hunting resources in the territory KOA of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain»**

№ п/п	Категории среды обитания охотничьих ресурсов	Классы среды обитания охотничьих ресурсов	Площадь, га	Доля от общей площади КОТР, %
1	Леса (территории, покрытые кронами древесной и древесно-кустарниковой растительности более чем на 20% площади и с высотой растений более 5 м)	Хвойные вечнозеленые (хвойных вечнозеленых пород более 80%)	540	0,3%
		Мелколиственные (мелколиственных пород более 80%)	20185	10,6%
		Смешанные с преобладанием хвойных пород (хвойных пород 60–80%)	426	0,2%
		Смешанные с преобладанием мелколиственных пород (мелколиственных пород 60–80%)	2454	1,3%
2	Молодняки и кустарники (территории, покрытые кронами древесной и древесно-кустарниковой растительности более чем на 20% площади и с высотой растений до 5 м)	Вырубки и зарастающие поля	48,8	0,0%
3	Болота (территории, постоянно или большую часть года избыточно насыщенные водой и покрытые специфической гигрофитной растительностью)	Верховые	1075	0,6%
4	Сельхозугодья (территории, вовлеченные в сельскохозяйственный оборот, пашни (в т.ч. заливные), залежи, сенокосы)	Пашни	2457	1,3%
		Луга сельскохозяйственного назначения (сенокосы и пастбища)	16311	8,5%
5	Внутренние водные объекты (все акватории водотоков (рек, ручьев, мелиоративных каналов), озер, прудов и водохранилищ)	Водотоки	2464	1,3%
		Озера, пруды	104379,8	54,7%

Окончание табл. 1

№ п/п	Категории среды обитания охотничьих ресурсов	Классы среды обитания охотничьих ресурсов	Площадь, га	Доля от общей площади КОТР, %
6	Пойменные комплексы (территории, затопляемые в период половодья водотоков, находящиеся между среднестатистическими минимальным и максимальным урезами воды, в том числе покрытые древесно-кустарниковой растительностью)	С преобладанием травянистой растительности (лес и кустарники до 20%)	28892	15,1%
		Смешанный лесной	1541	0,8%
		Смешанный кустарниковый	8452	4,4%
7	Береговые комплексы (периодически затопляемые прибрежные территории (в том числе приливно-отливные) озер, прудов, водохранилищ, морей и океанов, находящиеся между среднестатистическими минимальным и максимальным урезами воды, а также мелководные участки этих водных объектов, занятые прикреплённой надводной гидрофитной растительностью)	Береговой комплекс внутренних водных объектов	322,4	0,2%
9	Непригодные для ведения охотничьего хозяйства (территории, занятые населёнными пунктами, промышленными комплексами, рудеральные территории (свалки, кладбища и др.)	Промышленные и рудеральные комплексы, населённые пункты и др.	1402	0,7%

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что на территории объекта исследования КОТР НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» преимущественно представлены озера и пруды (54,7%), пойменные комплексы с преобладанием травянистой растительности (15,1%), леса мелколиственные (10,6%), луга сельскохозяйственного назначения (8,5%), пойменные комплексы смешанные кустарниковые (4,4%). Остальные элементы среды обитания охотничьих ресурсов занимают незначительную долю площади объекта исследования.

После проведения автоматизированной классификации необходимо оценить достоверность полученных результатов. Наиболее распространенным методом оценки достоверности классификации является Confusion matrix или «Матрица ошибок», используемая при бинарной и многоклас-

совой классификации; в Python-библиотеке scikit-learn реализована как функция confusion\_matrix [Github..., 2025]. Результаты оценки достоверности классификации, полученные на основе сформированной матрицы ошибок, представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Показатели достоверности классификации элементов среды обитания охотничьих ресурсов на территории КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности»**

**Indicators of reliability of classification of habitat elements of hunting resources in the territory of KOA of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain»**

Классы	Показатели достоверности классификации			
	РА	UA	OE	CE
Леса хвойные вечнозеленые	90,14%	84,12%	9,86%	15,88%
Леса мелколиственные	99,74%	99,81%	0,26%	0,19%
Леса смешанные с преобладанием хвойных пород	83,42%	61,55%	16,58%	38,45%
Леса смешанные с преобладанием мелколиственных пород	58,18%	83,33%	41,82%	16,67%
Вырубки и зарастающие поля	72,59%	72,59%	27,41%	27,41%
Болота верховые	92,02%	98,67%	7,98%	1,33%
Пашни	95,47%	95,40%	4,53%	4,60%
Луга сельскохозяйственного назначения (сенокосы и пастбища)	99,99%	99,99%	0,01%	0,01%
Водотоки, озера, пруды	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Поймы с преобладанием травянистой растительности (лес и кустарники до 20%)	98,56%	99,32%	1,44%	0,69%
Поймы смешанные лесные	56,02%	26,44%	43,98%	73,56%
Поймы смешанные кустарниковые	90,33%	96,05%	9,67%	3,95%
Береговой комплекс внутренних водных объектов	95,71%	95,71%	4,29%	4,29%
Промышленные и рудеральные комплексы, населенные пункты и др.	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
MPA	88,01%			
MUA	86,64%			
T	99,80%			

*Примечание.* Обозначения показателей достоверности классификации: UA (user's accuracy) – точность пользователя; PA (producer's accuracy) – точность производителя; CE (commission error) – ложно классифицированные пиксели, отнесенные к данному классу; OE (omission error) – пропущенные пиксели, которые не были отнесены к данному классу; T (total accuracy) – общая точность; MUA (mean user's accuracy) – средняя точность пользователя; MPA (mean producer's accuracy) – средняя точность производителя

Исходя из результатов оценки достоверности классификации, можно сделать вывод, что такие классы, как «Леса смешанные с преобладанием хвойных пород», «Леса смешанные с преобладанием мелколиственных пород», «Поймы смешанные лесные» являются наиболее сложными для алгоритма классификации. Данный факт ожидаем, так как коэффициенты спектральной яркости в формируемых эталонных участках могут совпадать с классами «Леса хвойные вечнозеленые», «Леса смешанные с преобладанием хвойных пород», «Поймы смешанные кустарниковые» соответственно. Остальные классы имеют высокую точность классификации и малые значения ошибок. Средняя точность производителя составляет 88,01%, средняя точность пользователя – 86,64%, а общая точность – 99,8%, что является достаточно высокими показателями точности проведенной автоматизированной классификации.

Наряду с матрицей ошибок для оценки достоверности классификации рассчитан коэффициент каппа Коэна (Cohen's Kappa) по формуле:

$$k = \frac{d - q}{N - q}, \quad (3)$$

где  $d$  – число случаев правильного получения результата;  $q$  – число случайных результатов, вычисляемое через число случайных результатов  $n_c$  и истинных результатов  $n_r$  из матрицы ошибок как:

$$q = \frac{n_c n_r}{N}, \quad (4)$$

где  $N$  – общее число пикселей.

Для проведенной классификации значение коэффициента каппа Коэна равно 0,966 или 99,6%. Считается, что при хороших результатах классификации  $k > 0,75$ , при средних  $0,4 < k < 0,75$  и при неприемлемых  $k < 0,4$  [Малышева, 2012; Сидорова, 2017].

*Выводы.* Проведенное исследование показало преимущество отбора эталонных и контрольных участков с помощью аэрофотосъемки территории с беспилотных авиационных систем, так как проведение отбора таких участков традиционными полевыми методами достаточно затруднительно в силу необходимости определения площадей занятости древесной и древесно-кустарниковой растительностью, а также средних высот растительности. Возможность неоднократно возвращаться к собранным материалам в камеральных условиях позволяет уточнять результаты.

На основе результатов применения алгоритма автоматизированной классификации мультиспектральных космических снимков и геоинфор-

мационной обработки данных была успешно выполнена типологическая классификация элементов среды обитания охотничьих ресурсов для территории КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» в соответствии с действующими нормативными требованиями.

Предложенная методика комплексного применения данных дистанционного зондирования Земли может значительно повысить производительность типологической классификации элементов среды обитания охотничьих ресурсов при проведении охотустроительных работ.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Винобер А.В.* Охотоведение и охотничье хозяйство: в поисках идентичности, синхронизации и пролиферации идей (к 70-летию факультета охотоведения (1950–2020 гг.) // Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2019. № 6(18). С. 5–17.

Водно-болотные угодья России. URL: <https://www.fesk.ru/tom/3.html> (дата обращения: 20.02.2024).

Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <https://gis-lab.info/> (дата обращения: 21.02.2024).

*Дергунов Д.М., Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Лежнин С.А., Губаев А.В.* Оценка алгоритма «Случайный лес» машинного обучения для классификации фитомассы лесов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 1(61). С. 30–44.

*Жекулин В.С.* Озеро Ильмень. Л.: Лениздат, 1979. 54 с.

*Каменнова И.Е.* Руководство по Рамсарской конвенции: Справочник по осуществлению Конвенции о водно-болотных угодьях (Рамсар, Иран, 1971 г.). 4-е изд. Гланд: Секретариат Рамсарской конвенции, 2006. 133 с.

ЛВПЦ Новгородской области. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-novgorod> (дата обращения: 20.02.2024).

*Мальшева Н.В.* Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений: учеб. пособие. М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2012. 151 с.

*Мищенко А.Л.* Озеро Ильмень и дельты рек Мста, Ловать и Шелонь // Водно-болотные угодья России. Т.3. Водно-болотные угодья, внесенные в Перспективный список Рамсарской конвенции. М., 2000. С. 86–88.

*Нехайчик В.П.* Развитие и преобразование географической среды: по материалам Новгородской области: сб. науч. тр. Л: ЛГПИ им. А.И. Герцена, 1975. 160 с.

Сидорова В.С. Сравнение карт по каппе Коэна // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 4, № 2. С. 18–22.

Рациональное природопользование: теория, практика, образование / под общ. ред. проф. М.В. Слипечука. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 264 с.

Сухомиров Г. И. О проблемах охотничьего хозяйства России // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Современные проблемы охотоведения: матер. VI Междунар. науч.-практич. конф. и Первого межрегионального симпозиума работников охотничьего хозяйства России. Иркутск, 2017. С. 153–159.

Черкаев А.В., Сафонов В.Г., Андреев М.Н., Граков Н.Н., Домский И.А., Краев Н.В., Матвейчук С.П., Машкин В.И., Миньков С.И. Концепция развития и научного обеспечения охотничьего хозяйства России // Труды ВНИИОЗ. 2000. № 1(51). С. 7–16. DOI: 10.5281/zenodo.11080398.

Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учеб. пособие. Пермь, 2020. 191 с.

Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5–32.

Github confusion matrix. URL: [https://github.com/confusion\\_matrix.py](https://github.com/confusion_matrix.py) (дата обращения: 21.02.2024).

Github dzetsaka. URL: <https://github.com/dzetsaka.py> (дата обращения: 21.02.2024).

Pan Xin, Zhang Ce, Xu Jun, Zhao Jian. Simplified object-based deep neural network for very high resolution remote sensing image classification // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2021. Vol. 181. P. 218–237. DOI: 10.1016/j.isprs.2021.09.014.

Scikit-learn Machine Learning in Python. URL: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата обращения: 21.02.2024)

Whiteside T.G., Boggs G.S., Maier S.W. Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2011. Vol. 13, iss. 6. P. 884–893.

Yang He, Ma Ben, Du Qian. Decision fusion for supervised and unsupervised hyperspectral image classification // International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2009. P. IV-948–IV-951. DOI: 10.1109/IGARSS.2009.5417535.

## References

Breiman L. Random Forests. *Machine Learning*, 2001, vol. 45, pp. 5–32.

Cherekaev A.V., Safonov V.G., Andreev M.N., Grakov N.N., Domskiy I.A., Kraev N.V., Matveychuk S.P., Mashkin V.I., Minkov S.I. Kontseptsiya razvitiya i nauchnogo obespecheniya ohotnich'ego hozyajstva Rossii. *Trudy VNIIOZ*, 2000, no. 1(51), pp. 7–16. DOI: 10.5281/zenodo.11080398. (In Russ.)

*Dergunov D.M., Vorob'yov O.N., Kurbanov E.A., Lezhnin S.A., Gubaev A.V.* Otsenka algoritma «Sluchajnyj les» mashinnogo obucheniya dlya klassifikatsii fitomassy lesov. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2024, no. 1 (61), pp. 30–44. (In Russ.)

Geograficheskie informacionnye sistemy i distancionnoe zondirovanie. URL: <https://gis-lab.info/> (accessed February 21, 2024). (In Russ.)

Github confusion matrix. URL: [https://github.com/confusion\\_matrix.py](https://github.com/confusion_matrix.py) (accessed February 21, 2024).

Github dzetsaka:. URL: <https://github.com/dzetsaka.py> (accessed February 21, 2024).

*Kamennova I.E.* Rukovodstvo po Ramsarskoj konventsii: Spravochnik po osushchestvleniyu Konventsii o vodno-bolotnyh ugod'yah (Ramsar, Iran, 1971 g.). 4th ed. Gland: Sekretariat Ramsarskoj konventsii, 2006. 133 p. (In Russ.)

LVPC Novgorodskoj oblasti:. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-novgorod> (accessed February 20, 2024). (In Russ.)

*Malysheva N.V.* Avtomatizirovanoe deshifirovanie aerokosmicheskikh izobrazhenij lesnyh nasazhdenij: uchebnoe posobie. Moscow: Izd-vo Moskovskogo gos. un-ta lesa, 2012. 151 p. (In Russ.)

*Mishchenko A.L.* Ozero Il'men' i del'ty rek Msta, Lovat' i Shelon'. *Vodno-bolotnye ugod'ya Rossii. T.3. Vodno-bolotnye ugod'ya, vnesennye v Perspektivnyj spisok Ramsarskoj konventsii / pod obshch. red. V.G. Krivenko.* Moscow, 2000, pp. 86–88. (In Russ.)

*Nekhajchik V.P.* Razvitie i preobrazovanie geograficheskoy sredy: po materialam Novgorodskoj oblasti: sbornik nauchnyh trudov. Leningrad: LGPI im. A.I. Gertsena, 1975. 160 p. (In Russ.)

*Pan Xin, Zhang Ce, Xu Jun, Zhao Jian.* Simplified object-based deep neural network for very high resolution remote sensing image classification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2021, vol. 181, pp. 218–237. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.09.014.

Ratsional'noe prirodopol'zovanie: teoriya, praktika, obrazovanie / pod obshch. red. prof. M.V. Slipenchuka. Moscow: Geograficheskij fakul'tet MGU, 2012. 264 p. (In Russ.)

Scikit-learn Machine Learning in Python: [Electronic resource]. URL: <https://scikit-learn.org/stable/> (accessed February 21, 2024)

*Shihov A.N., Gerasimov A.P., Ponomarchuk A.I., Perminova E.S.* Tematicheskoe deshifirovanie i interpretatsiya kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razresheniya: ucheb. posobie. Perm', 2020. 191 p. (In Russ.)

*Sidorova V.S.* Sravnenie kart po kappe Koena. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2017, T. 4, no. 2, pp. 18–22. (In Russ.)

*Suhomirov G.I.* O problemah ohotnich'ego hozyajstva Rossii. *Klimat, ekologiya, sel'skoe hozyajstvo Evrazii. Sovremennye problemy ohotovedeniya: materialy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii i Pervogo mezhhregional'nogo simpoziuma rabotnikov ohotnich'ego hozyajstva Rossii.* Irkutsk, 2017, pp. 153–159. (In Russ.)

*Vinober A.V.* Ohotovedenie i ohotnich'e hozyajstvo: v poiskah identichnosti, sinhronizatsii i proliferatsii idej (k 70-letiyu fakul'teta ohotovedeniya (1950–2020). *Gumanitarnye aspekty okhoty i okhotnich'ego khozyajstva*, 2019, no. 6(18), pp. 5–17. (In Russ.)

Vodno-bolotnye ugod'ya Rossii. URL: <https://www.fesk.ru/tom/3.html> (accessed February 20, 2024). (In Russ.)

*Whiteside T.G., Boggs G.S., Maier S.W.* Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011, vol. 13, iss. 6, pp. 884–893.

*Yang He, Ma Ben, Du Qian.* Decision fusion for supervised and unsupervised hyperspectral image classification. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2009, pp. IV-948–IV-951. DOI: 10.1109/IGARSS.2009.5417535.

*Zhekulin V.S.* Ozero Il'men'. Leningrad: Lenizdat, 1979. 54 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 19.05.2024*

---

**Лукашик Е.Е., Лукашик Е.А., Алексеев А.С.** Типологическая оценка охотничьих угодий ключевой орнитологической территории «Озеро Ильмень и окрестности» с применением данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 115–134. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.115-134

Данные дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии в настоящее время позволяют получать большой объем достоверной информации о состоянии природных и антропогенных ландшафтов. Охотничьи ресурсы и элементы среды их обитания базируются на таких ландшафтах и тесно связаны друг с другом; видовой состав и численность охотничьих ресурсов во многом зависят от распределения элементов среды их обитания на территории охотничьих угодий. Ряд нормативных документов Российской Федерации, регламентирующих ведение охотничьего хозяйства и охотустроительных работ, отражает тот факт, что наиболее эффективным является инвентаризация современного состояния среды обитания охотничьих животных на единой методологической основе, в том числе при осуществлении мониторинга с использованием и анализом данных дистанционного зондирования поверхности Земли и аэрофотосъемки охотничьих ландшафтов. Целью данного исследования являлось формирование подхода к типологической классификации элементов среды обитания охотничьих ресурсов на основе приме-

нения данных дистанционного зондирования Земли (аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов и космической съемки с ИСЗ Sentinel-2A), материалов лесоустройства, алгоритмов автоматизированной классификации изображений и геоинформационного анализа получаемых данных. В качестве объекта исследования выступила ключевая орнитологическая территория международного значения (КОТР) НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» общей площадью 190950 га, расположенная в Новгородской области. Программными средствами обработки и анализа данных являлись ГИС QGIS, плагин автоматизированной классификации изображений dzetsaka: classification tool с Python-библиотекой scikit-learn; применяемый алгоритм классификации – Random Forest или алгоритм «случайного леса». В результате проведенных работ была сформирована карта-схема элементов среды обитания охотничьих ресурсов КОТР НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» и атрибутивная таблица с распределением площадей элементов среды обитания охотничьих ресурсов в соответствии с действующими нормативными требованиями регионального охотустройства. Точность автоматизированной классификации и достоверность полученных результатов были оценены по сформированной матрице ошибок и расчету коэффициента каппа Коэна. Предложенный подход может эффективно применяться не только в практике охотостроительных работ, но и в процессе мониторинга состояния природных и антропогенных ландшафтов, включающих в себя различные категории земель.

Ключевые слова: геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли, геоинформационное картографирование, автоматизированная классификация, охотничье хозяйство, охотничьи ресурсы.

**Lukashik E.E., Lukashik E.A., Alekseev A.S.** Typology assessment of hunting grounds of key ornithological territory «Lake Il'men and adjoining marshy plain» using remote sensing data and GIS-technologies. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 115–134 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.115-134

Earth remote sensing data and GIS technology now provide a large amount of reliable information on the state of natural and man-made landscapes. Hunting resources and habitat are based on such landscapes and closely interrelated; the species composition and number of hunting resources depend to a large extent on the distribution of their habitat elements within the hunting grounds. A number of normative documents of the Russian Federation regulating the management of hunting and hunting activities reflect the fact that the most effective is inventoring the current state of the habitat of hunting animals on a single methodological basis, including monitoring using and analysing data from remote sensing of the Earth's surface and aerial photography of hunting landscapes. The aim of this study was to develop an approach to typology classification of habitat elements of hunting resources based on the application of remote sensing data from the Earth (aerial photography with unmanned aircraft and space im-

agery with Sentinel-2A), forest management materials, semi-automatic image classification algorithms and geo-information analysis of the resulting data. The study was conducted on a key ornithological area of international importance (KOA) NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain» with a total area of 190,950 ha, located in the Novgorod region. The software tools for data processing and analysis were QGIS, a plugin of automated classification of images dzetsaka: classification tool with Python-library scikit-learn; “random forest” classification algorithm has been applied. As a result of this work, the schematic map of the habitat elements of hunting resources KOA NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain» and an attribute table with the distribution of the area of habitat elements of hunting resources according to the current regulatory requirements of regional hunting were formed. The accuracy of the automated classification and the reliability of the results obtained were assessed by using a built-in error matrix and Cohen’s Kappa coefficient calculation. The proposed approach can be effectively applied not only in hunting practices, but also in the monitoring of natural and human landscapes that include different land categories.

**Key words:** geographic information systems, remote sensing of the Earth, geo-information mapping, semi-automatic classification, hunting farm, hunting resources.

---

**ЛУКАШИК Евгений Евгеньевич** – заведующий лабораторией беспилотных систем и цифровой инженерии Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 4424-8576. ORCID: 0000-0002-3414-9407.

173003, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41, г. Великий Новгород, Россия. E-mail: lukashik-proekt@yandex.ru

**LUKASHIK Evgeny E.** – Head of the Laboratory for unmanned systems and digital engineering of Novgorod State University named after Yaroslav-the-Wise, PhD student of the Department of Forest Inventory, Management and GIS, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 4424-8576. ORCID: 0000-0002-3414-9407.

173003. Bol'shaya Sankt-Peterburgskaya str. 41. Veliky Novgorod. Russia. E-mail: lukashik-proekt@yandex.ru

**ЛУКАШИК Екатерина Александровна** – ведущий техник-технолог лаборатории беспилотных систем и цифровой инженерии Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. SPIN-код: 2236-5628. ORCID: 0009-0007-3919-5377.

173003, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41, г. Великий Новгород, Россия. E-mail: ekaterinalikoris@yandex.ru

**LUKASHIK Ekaterina A.** – Head technician-technologist of the laboratory of unmanned systems and digital engineering, Novgorod State University University named after Yaroslav-the-Wise. SPIN-code: 2236-5628. ORCID: 0009-0007-3919-5377.

173003. Bol'shaya Sankt-Peterburgskaya str. 41. Veliky Novgorod. Russia. E-mail: ekaterinalikoris@yandex.ru

**АЛЕКСЕЕВ Александр Сергеевич** – профессор, заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор географических наук. SPIN-код: 8115-9103. ResearcherID: F-6891–2010. ORCID: 0000-0001-8795-2888. SCOPUS AuthorID: 150999.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a\_s\_alekseev@mail.ru

**ALEKSEEV Aleksandr S.** – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Forest Inventory, Management and GIS, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8115-9103. ResearcherID: F-6891–2010. ORCID: 0000-0001-8795-2888. SCOPUS AuthorID: 150999.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a\_s\_alekseev@mail.ru

**Ю.П. Демаков, О.В. Шейкина, Е.С. Шарапов**

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗРЕЖИВАНИЯ  
ЗАГУЩЕННЫХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ  
НА РАЗНООБРАЗИЕ ХАРАКТЕРА РОСТА ДЕРЕВЬЕВ**

*Введение.* Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования технологий плантационного лесовыращивания, обеспечивающих повышение его экономической эффективности и производительности древостоев [Демаков и др., 2018, 2021], во многом зависящих от их густоты, регулируемой рубками ухода, которые являются одним из самых трудоемких, сложных и, несмотря на длительную историю их изучения, проблематичных лесохозяйственных мероприятий [Георгиевский, 1957; Эйтинген, 1962; Вакуров, 1967; Давыдов, 1971; Сеннов, 1977, 1984, 1987; Атрохин, 1987]. Они позволяют в полной мере использовать эколого-ресурсный потенциал лесных экосистем. Получить правильные ответы на многие спорные вопросы, связанные с проведением данного мероприятия по устойчивому управлению развитием лесных биогеоценозов, можно только на основе системного анализа, а также длительных наблюдений за их состоянием [Сеннов, 1999; Шутов, 2001; Романов и др., 2020; Демаков, 2022].

Установлено, что эффективность рубок ухода зависит от многих факторов, в том числе от их интенсивности и сроков проведения [Кузнецов, Лисов, 1976; Шинкаренко и др., 1979; Гвоздев, 1980; Набатов и др., 1980; Попов, 1980; Шинкаренко, Дзедзюля, 1983; Кузнецов, 1984; Бриндум, 1987; Бухт, 1987; Буш, 1987; Мищ, 1987; Морозов и др., 1987, 1988; Роллинсон, 1987; Суворов, 1987; Хару и др., 1987; Эрикссон, 1987; Демаков и др., 2020]. С экономических позиций выгоднее проводить изреживание древостоев реже, но интенсивнее, так как это позволяет существенно улучшить их товарную структуру. Повышенная интенсивность рубок позволяет отодвинуть время повторения изреживания, но связана с потерей общего запаса древесины, величина которого зависит от климата, типа лесорастительных условий и возраста насаждений. Первоочередными объектами проведения рубок ухода являются искусственно созданные насаждения (инженерные экосистемы), где процессы изреживания древостоя могут отличаться от естественных биогеоценозов. Изреживание однопородных

древостоев, имея много достоинств, может снизить их структурное разнообразие по характеру роста деревьев, а, следовательно, их устойчивость к воздействию неблагоприятных климатических факторов. Этот вопрос, имеющий важное значение при проектировании инженерных экосистем, пока никем не изучался, что и определило выбор темы нашего исследования.

При изучении структуры ценопопуляций древесных растений, которые в этом отношении очень неоднородны [Санников, Петрова, 2003; Романовский, Щекалев, 2014], а также вскрытии механизмов регуляции их состояния в нестабильной среде обитания целесообразно использовать количественные показатели индивидуальной изменчивости рядов годичного прироста особей [Демаков, Нуреева, 2019], несущие большой объем информации о характере происходящих изменений.

Цель работы – оценка влияния разных вариантов изреживания 15-летних культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на структурное разнообразие древостоя по характеру роста деревьев и их реакций на колебания климата.

*Материалы и методика исследования.* Исследования проведены на опытном объекте, созданном в 1974 году в кв. 80 Старожильского участкового лесничества Республики Марий Эл по гаре 1972 года и состоящем из 22 секций, включая три контрольные, размер которых варьировал от 0,08 до 0,12 га. Рельеф участка ровный, почва – дерново-подзол иллювиально-железистый песчаный, тип условий произрастания – А2 (свежий бор). Изреживание древостоя проведено в августе 1987 года путем повала катком КОК-2, установленным на тракторе ЛХТ-55, двух рядов деревьев и оставления в различных вариантах опыта 2-, 3-, 4- и 6-рядных кулис. На половине секций объекта осенью 1989 года проведена дополнительная ручная селективная вырубка отставших в росте и фаутных деревьев. Интенсивность изреживания древостоя изменялась в вариантах опыта от 25 до 82% по количеству стволов, которое исходно составляло в среднем 10 тыс. экз./га. Подробное описание объекта приведено в нашей предыдущей работе [Демаков, 2022].

В каждом из пяти вариантов опыта в случайном порядке было выбрано по 12 деревьев, у которых на высоте 1,3 м от поверхности почвы с помощью возрастного бурава Пресслера взяли керны древесины для оценки индивидуальных особенностей динамики радиального годичного прироста. Измерение ширины годичных колец проведено по окуляр-шкале бинокулярного микроскопа МБС-10 с погрешностью  $\pm 0,05$  мм. Цифровой материал обработан на ПК с использованием пакетов прикладных программ Excel

и Statistica стандартными методами математической статистики [Дрейпер, Смит, 1973; Ким и др., 1989; Зайцев, 1991; Гринин и др., 2003].

*Результаты и обсуждение.* Исследования показали, что изреживание древостоя на опытном объекте привело к некоторому изменению его размерной структуры, выразившемуся в снижении величины асимметрии и эксцесса распределения, а также небольшому увеличению среднего диаметра деревьев, но практически не отразилось на вариабельности их размера в ценопопуляциях (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

**Вариабельность диаметра деревьев на опытном объекте спустя 30 лет после проведения изреживания**

**Variability of tree diameter at the experimental site 30 years after thinning**

Интенсивность изреживания	Значения статистических показателей						
	N, шт.	M	min	max	S	A	E
Контроль	281	11,5	6	24	3,62	0,831	0,514
25%	485	15,4	8	28	3,71	0,395	0,004
50%	455	12,9	6	24	3,71	0,495	-0,423
68%	175	14,8	8	24	3,36	0,118	-0,383
80%	361	14,5	8	26	3,70	0,294	-0,321

*Примечание:* здесь и в табл. 3, 4 М – среднее арифметическое значение диаметра деревьев, см; min, max – нижняя и верхняя величина ступеней толщины деревьев, см; S – среднеквадратическое отклонение диаметра деревьев в выборке, см; A – коэффициент асимметрии распределения; E – коэффициент эксцесса

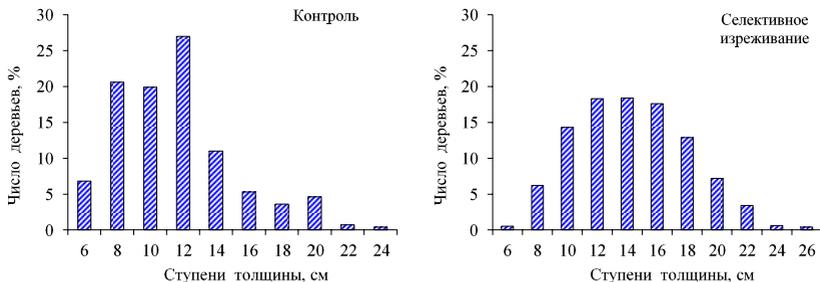


Рис. 1. Гистограммы распределения деревьев по ступеням толщины в 45-летних насаждениях при разных вариантах их изреживания

Fig. 1. Histograms of the distribution of trees by thickness level in 45-year-old plantations under different thinning options

Изреживание древостоя привело, как было установлено на основе полного перечета всех деревьев, к увеличению в целом за 30 лет прироста площади поперечного сечения их ствола, хотя величина его сильно варьировала между секциями опытного объекта (рис. 2). Анализ материала по выборкам показал, что увеличение радиального прироста деревьев отмечалось только в первые восемь лет после проведения изреживания, а затем его величина на контрольных секциях была более высокой (рис. 3). Особенно впечатляющими оказались изменения реакции деревьев в ответ на одинаковые по величине колебания факторов внешней среды, которые оказались диаметрально противоположными. Причиной этого феномена явились индивидуальные особенности деревьев, закрепленные, вероятно, в их геноме. Игнорирование индивидуальных особенностей деревьев при отборе их в рубку может привести к совершенно разным последствиям проводимых лесохозяйственных мероприятий, поэтому весьма важно выявить простые диагностические признаки, позволяющие уверенно отличать в ценопопуляциях одни особи от других.

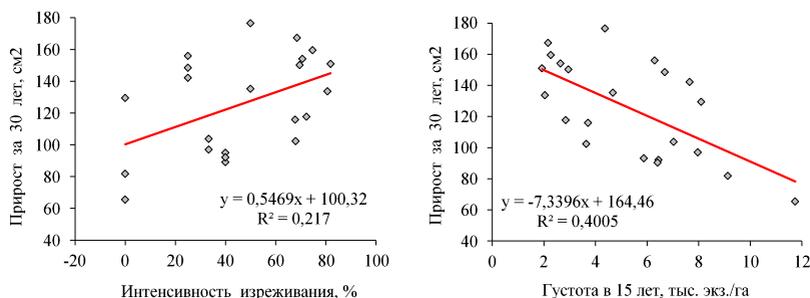


Рис. 2. Влияние изреживания древостоя на величину прироста площади поперечного сечения ствола среднего дерева в культурах сосны на опытном объекте

Fig. 2. The influence of tree stand thinning on the increase in the cross-sectional area of the trunk of an average tree in pine crops at an experimental site

Увеличение интенсивности изреживания древостоев не привело, как показали расчеты, к снижению степени разнообразия ответных реакций деревьев на межгодовые колебания погодных условий, о чем свидетельствуют практически одинаковая во всех вариантах опыта доля вклада «шумов» в общую дисперсию их радиального прироста (табл. 2), а также степень варьирования величины коэффициента корреляции между рядами значений прироста (табл. 3).

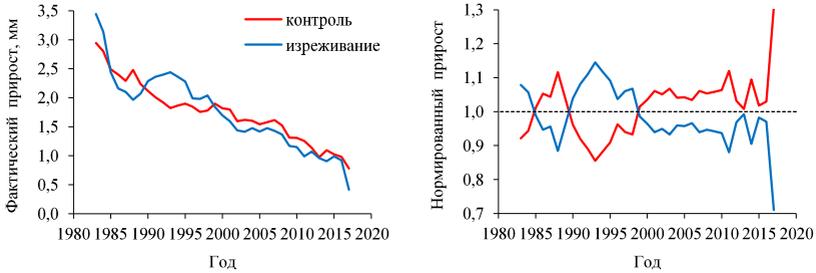


Рис. 3. Динамика радиального прироста деревьев на объекте исследования в контроле и при высокой интенсивности изреживания (68–80%)

Fig. 3. Dynamics of radial growth of trees at the study site in control and with high intensity of thinning (68–80%)

Таблица 2

**Вклад факторов в дисперсию годичного прироста деревьев на объекте исследования**

**Contribution of factors to the dispersion of annual tree growth at the study site**

Интенсивность изреживания	Фактор дисперсии и его вклад в изменчивость годичного прироста				
	Скорость роста дерева		Возраст и погодные условия		Вклад шумов, %
	Вклад, %	Значение p	Вклад, %	Значение p	
Контроль	24,6	< 0,001	43,4	< 0,001	32,0
25%	26,7	< 0,001	40,8	< 0,001	32,5
50%	22,8	< 0,001	49,7	< 0,001	27,5
68%	8,3	< 0,001	52,4	< 0,001	39,3
80%	8,8	< 0,001	54,7	< 0,001	36,5

Таблица 3

**Сопряженность рядов годичного прироста деревьев на объекте исследования**

**Conjugacy of series of annual growth of trees at the study site**

Интенсивность изреживания	Показатели изменчивости коэффициента корреляции				
	Среднее	min	max	Размах	S
Контроль	0,53	0,00	0,90	0,90	0,22
25%	0,56	0,05	0,84	0,79	0,16
50%	0,67	0,24	0,88	0,64	0,13
68%	0,50	-0,02	0,91	0,93	0,26
80%	0,63	0,14	0,87	0,73	0,17

Древостой во всех вариантах опыта, как следует из представленных данных, очень неоднороден, и деревья в нем группируются между собой по характеру ответных реакций на изменения условий среды обитания в ряд относительно однородных кластеров, диаметрально отличающихся друг от друга по экологическим требованиям, что особенно четко проявляется при использовании нормированных значений годового прироста относительно их средней величины по каждому конкретному году (рис. 4 и 5). Различия ритмики роста деревьев в ценопопуляциях могут быть обусловлены генетическими особенностями особей по резервированию и характеру распределения в своих органах ресурсов накопленных питательных веществ [Harper, 1977; Keddy et al., 1990; Wedin, Tilman, 1993], а также особенностями архитектуры их корневых систем [Тихонова, 2013; Baldwin, 1976; Wilson, 1988; Grubb, 1994; Kadmon, 1995] и соотношением между массой хвои и размером водопроводящей зоны ствола [Вомперский, Иванов, 1984; Кайбияйнен и др., 1986; Иванов, Дубинин, 1992].

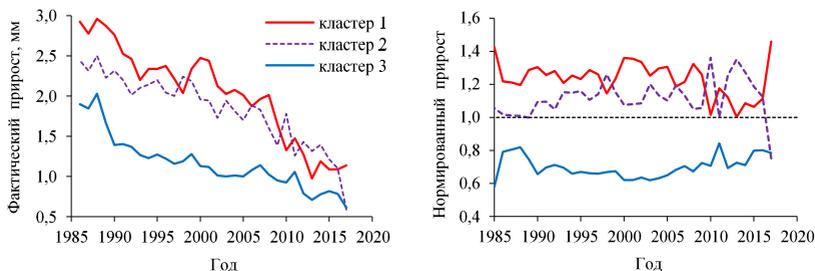


Рис. 4. Динамика радиального прироста деревьев разных кластеров на контрольных секциях объекта исследования и в варианте опыта с интенсивностью изреживания 25% по числу стволов

Fig. 4. Dynamics of radial growth of trees of different clusters in control sections of the study object and in the experimental variant with a thinning intensity of 25% in terms of the number of trunks

В ходе проведения исследования удалось выявить интересную закономерность, выразившуюся в том, что у деревьев с большим приростом в предыдущем году его величина в текущем, как правило, уменьшалась, а у деревьев же с малым, наоборот, увеличивалась (рис. 6). Этот феномен, механизм действия которого в ценопопуляциях пока не вскрыт и требует проведения специальных исследований, является ярким проявлением зако-

на стабилизирующего отбора, действующего в любой популяции и направленного на удержание какого-либо признака организма в рамках средних для вида значений [Шмальгаузен, 1968; Тимофеев-Ресовский и др., 1977; Яблоков, Юсуфов, 1989]. Изреживание древостоя не оказывало на эту закономерность существенного влияния (табл. 4), однако в отдельные годы (1992, 2000, 2003, 2006 и 2013) отмечались значительные отклонения от нее (рис. 7), причины которых нами пока не выяснены.

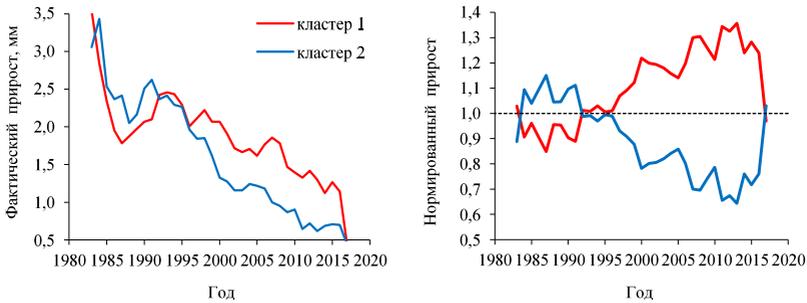


Рис. 5. Динамика радиального прироста деревьев разных кластеров на объекте исследования в варианте опыта с высокой интенсивностью изреживания (68–80%)

Fig. 5. Dynamics of radial growth of trees of different clusters at the study site in the experimental variant with high thinning intensity (68–80%)

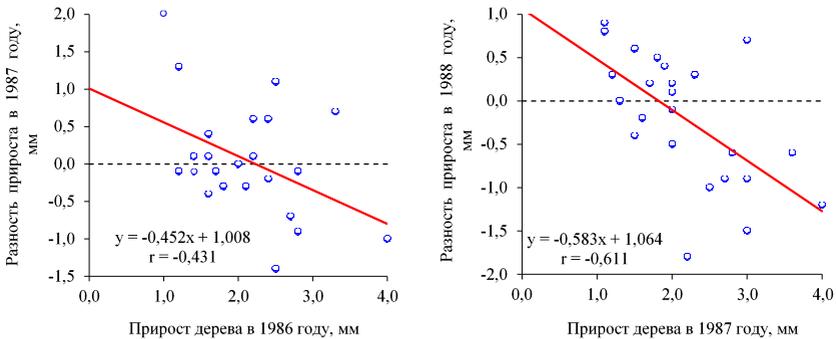


Рис. 6. Характер связи между годичным приростом деревьев в смежные годы в вариантах опыта с наиболее высокой интенсивностью изреживания до и после его проведения

Fig. 6. The nature of the relationship between the annual growth of trees in adjacent years in the experimental variants with the highest intensity of thinning before and after it

Таблица 4

**Сопряженность рядов значений разности прироста деревьев между смежными годами и фактического прироста в предыдущем году**

**Conjucy of series of values of the difference in tree growth between adjacent years and the actual growth in the previous year**

Интенсивность изреживания	Показатели изменчивости коэффициента корреляции				
	Среднее	min	max	Размах	S
Контроль	-0,346	-0,755	0,227	0,982	0,229
25%	-0,372	-0,797	0,476	1,273	0,280
50%	-0,379	-0,765	0,260	1,025	0,233
68%	-0,404	-0,770	0,157	0,927	0,222
80%	-0,446	-0,713	0,108	0,821	0,175

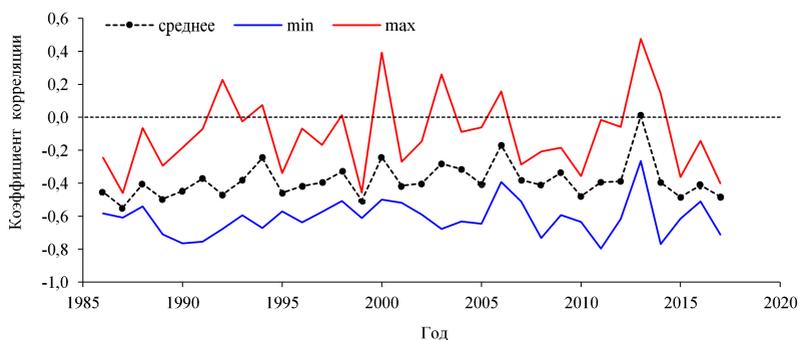


Рис. 7. Динамика значений коэффициента корреляции рядов разности прироста деревьев на объекте исследования между смежными годами и фактического их прироста в предыдущем году

Fig. 7. Dynamics of the correlation coefficient values of the series of differences in tree growth at the study site between adjacent years and their actual growth in the previous year

*Заключение.* Результаты опыта свидетельствуют об отсутствии влияния раннего интенсивного изреживания загущенных древостоев искусственного происхождения, созданных в борах Республики Марий Эл, на разнообразие их структуры по характеру роста деревьев. Увеличение ра-

диального прироста деревьев отмечалось только в первые восемь лет после этого мероприятия, а затем его величина на контрольных секциях была более высокой. Древостой во всех вариантах опыта очень неоднороден по характеру роста деревьев, среди которых выделяются группы, диаметрально отличающиеся друг от друга по экологическим требованиям к условиям среды. Игнорирование индивидуальных особенностей деревьев при отборе их в рубку может привести к совершенно разным последствиям проводимых лесохозяйственных мероприятий, поэтому весьма важно выявить простые диагностические признаки, позволяющие уверенно отличать в ценопопуляциях одни особи от других. Изреживание древостоя не оказывало существенного влияния и на характер взаимосвязи между величиной прироста деревьев в смежные между собой годы, которая проявляется в форме стабилизирующего отбора, направленного на удержание этого признака в ценопопуляциях, являющихся саморегулирующимися динамическими системами, в рамках средних значений, соответствующих сложившимся условиям среды.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00220, <https://rscf.ru/project/23-16-00220>.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

*Атрохин В.Г.* Биоэкологические основы рубок ухода как средства создания лесов будущего // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 14–21.

*Бриндум Х.* Эксперименты по рубкам ухода за хвойными и твердолиственными породами в Дании // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 48–65.

*Бухт С.* Рубки ухода за лесом в Швеции: требования и пути для достижения хорошего лесоводственного качества насаждений // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 27–33.

*Буш К.К.* Экологические основы рубок ухода // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 21–24.

*Вакуров А.Д.* Рубки ухода в культурах разной густоты // Лесное хозяйство. 1967. № 2. С. 24–25.

*Вомперский С.Э., Иванов А.И.* Связь площади поперечного сечения заболони с массой хвои сосны обыкновенной // Лесоведение. 1984. № 3. С. 60–65.

*Гвоздев В.К.* Влияние комплексного ухода на фотосинтез, транспирацию и некоторые диагностические показатели жизнеспособности сосновых культур // Лесоведение и лесное хозяйство. 1980. Вып. 15. С. 48–52.

*Георгиевский Н.П.* Рубки ухода за лесом. М.-Л.: Сельхозгиз, 1957. 142 с.

*Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н.* Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.

*Давыдов А.В.* Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 180 с.

*Демаков Ю.П.* Результаты многолетних опытов по созданию и выращиванию культур сосны обыкновенной в Республике Марий Эл. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2022. 242 с.

*Демаков Ю.П., Нуреева Т.В.* Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. №4. С. 274–285.

*Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С., Краснов В.Г.* Экономические основы и опыт плантационного лесовыращивания в Среднем Поволжье // Сибирский лесной журнал. 2018. № 2. С. 3–14.

*Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г.* Результаты 30-летнего опыта по изреживанию культур сосны в борах Марийского Заволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 3 (47). С. 5–18.

*Демаков Ю.П., Романов Е.М., Краснов В.Г., Нуреева Т.В.* Опыт искусственного восстановления лесов в Среднем Поволжье и дальнейшая стратегия действий по его совершенствованию // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 1 (49). С. 23–46.

*Дрейтер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

*Зайцев Г.Н.* Математический анализ биологических данных. М.: Высшая школа, 1991. 182 с.

*Иванов А.И., Дубинин А.И.* Площадь сечения заболони и площадь зоны транзита влаги в ней у сосны обыкновенной // Лесоведение. 1992. № 5. С. 28–37.

*Кайбияйнен Л.К., Хари П., Сазонова Т.А., Мякеля А.* Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. III. Площадь проводящей ксилемы и масса хвои // Лесоведение. 1986. № 1. С. 31–37.

*Ким Дж.О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р., Олдендерфер М.С., Блэшфилдс Р.К.* Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.

Кузнецов Н.А. Прочистки в густых культурах сосны и их влияние на ассимиляционную поверхность и текущий прирост // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье. М., 1984. С. 42–48.

Кузнецов Н.А., Лисов Н.А. Влияние рубок ухода на формирование и санитарное состояние древостоев густых культур сосны в очагах майского хруща // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье. М., 1976. С. 27–34.

Мищ Р. Определение интенсивности рубок ухода при ведении лесного хозяйства // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 84–89.

Морозов В.А., Шиманский П.С., Штукин С.С. Рост сосны: влияние изреживания и многолетнего люпина // Лесное хозяйство. 1987. № 9. С. 36–38.

Морозов В.А., Шиманский П.С., Штукин С.С. Влияние изреживания, средств химии и биологической мелиорации на рост сосны // Лесоводство, лесоведение, лесные пользования: Экспресс-информация. 1988. Вып. 5. С. 2–11.

Набатов Н.М., Лепехин В.В., Миронов О.В. Влияние разреживания на процесс естественного отпада в сосняках // Лесное хозяйство. 1980. № 2. С. 14–16.

Попов В.К. Линейно-выборочные рубки ухода в культурах сосны // Лесное хозяйство. 1980. № 2. С. 28–31.

Роллинсон Т.Дж.Д. Рубки ухода в Великобритании // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 33–43.

Романов Е.М., Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Заболотских П.В. О необходимости создания учебно-опытных стационаров для разработки и внедрения интенсивных технологий лесовыращивания и подготовки специалистов лесного дела // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 2 (46). С. 5–26.

Романовский М.Г., Щекалев Р.В. Система вида у древесных растений. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 212 с.

Санников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2003. 248 с.

Сеннов С.Н. Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 160 с.

Сеннов С.Н. Уход за лесом (экологические основы). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 128 с.

Сеннов С.Н. Рубки ухода при выращивании целевых древостоев // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 9–14.

Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. СПб: СПбНИИЛХ, 1999. 98 с.

Суворов В.И. Физиологические основы рубок ухода в хвойных культурах // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 24–27.

Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1977. 302 с.

Тихонова И.В. Карликовые сосны Ширинской лесостепи // Лесоведение. 2013. № 2. С. 22–30.

Хару П.А., Стоун Р.Дж., Мадер Д.А. Экономичность интенсивных рубок ухода в лесных посадках // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 280–286.

Шинкаренко И.Б., Говорова Т.Т., Головчанский И.Н., Рябоконе А.П. Влияние различных режимов выращивания сосновых культур на продуктивность, дифференциацию и строение средневозрастных древостоев // Лесоводство и агролесомелиорация. 1979. Вып. 54. С. 3–9.

Шинкаренко И.Б., Дзедзюля А.А. Оптимизация режимов густоты при целевом выращивании сосновых культур // Лесоведение и лесоводство: Обзорная информация ЦБНТИ–лесхоз. 1983. № 3. С. 1–40.

Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. Теория стабилизирующего отбора. М.: Наука, 1968. 454 с.

Шутов И.В. Фактор времени в лесоводстве и оценка его значения в стационарных опытах // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Тула, 2001. С. 16–22.

Эйтинген Г.Р. Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1962. 500 с.

Эрикссон Г. Аспекты рубок ухода и удобрения насаждений ели и сосны обыкновенной, основанные на опытах, проведенных в Швеции // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 72–84.

Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М.: Высшая школа, 1989. 335 с.

Baldwin J.P. Competition for plant nutrients in soil: a theoretical approach // Journal of Agricultural Science. 1976. Vol. 87. P. 341–356.

Grubb P.J. Root competition in soils of different fertility: a paradox resolved? // Phytocoenologia. 1994. Vol. 24. P. 495–505. DOI: 10.1127/phyto/24/1994/495.

Harper J.L. The effects of neighbors // Population Biology of Plants. London, 1977. P. 151–347.

Kadmon R. Plant competition along soil moisture gradients: a field experiment with the desert annual *Stipa capensis* // Journal Ecology. 1995. Vol. 83. P. 253–262.

*Keddy P.A., Grace J.B., Tilman D.* Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities // *Perspectives on Plant Competition*. San Diego, 1990. P. 266–290.

*Wedin D., Tilman D.* Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition // *Ecological Monographs*. 1993. Vol. 63. P. 199–229.

*Wilson B.J.* Shoot competition and root competition // *Journal of Applied Ecology*. 1988. Vol. 25. P. 279–296.

### References

*Atrohin V.G.* Bioekologicheskie osnovy rubok ukhoda kak sredstva sozdaniya lesov budushchego [Bioecological foundations of thinning as a means of creating forests of the future]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 14–21. (In Russ.)

*Baldwin J.P.* Competition for plant nutrients in soil: a theoretical approach. *Journal of Agricultural Science*, 1976, vol. 87, pp. 341–356.

*Brindum H.* Eksperimenty po rubkam ukhoda za khvojnymi i tverdolistvennymi porodami v Danii [Experiments in thinning of coniferous and hardwood species in Denmark]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 48–65. (In Russ.)

*Bukht S.* Rubki ukhoda za lesom v Shvetsii: trebovaniya i puti dlja dostizheniya khoroshego lesovodstvennogo kachestva nasazhdenij [Forest thinning in Sweden: requirements and ways to achieve good silvicultural quality of stands]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 27–33. (In Russ.)

*Bush K.K.* Ekologicheskie osnovy rubok ukhoda [Ecological foundations of thinning]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 21–24. (In Russ.)

*Davydov A.V.* Rubki ukhoda za lesom [Forest thinning]. Moscow: Lesnaja promyshlennost', 1971. 180 p. (In Russ.)

*Demakov Ju.P.* Rezul'taty mnogoletnikh opytov po sozdaniyu i vyrashchivaniju kul'tur sosny obyknovnoy v Respublike Marij El [Results of long-term experiments on the creation and cultivation of Scots pine crops in the Republic of Mari El]. Joshkar-Ola: PGTU, 2022. 242 p. (In Russ.)

*Demakov Ju.P., Nureeva T.V.* Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya drev'ev po ikh razmeram v tsenopopulyakh sosny obyknovnoy [Patterns of change in the rank position of trees by their size in Scots pine cenopopulations]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 2019, no. 4, pp. 274–285. (In Russ.)

Demakov Ju.P., Nureeva T.V., Purjaev A.S., Krasnov V.G. Ekonomicheskie osnovy i opyt plantatsionnogo lesovyrashchivaniya v Srednem Povolzh'e [Economic foundations and experience of plantation forest cultivation in the Middle Volga region]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian journal of forest science]*, 2018, no. 2, pp. 3–14. (In Russ.)

Demakov Ju.P., Nureeva T.V., Krasnov V.G. Rezul'taty 30-letnego opyta po izrezhivaniyu kultur sosny v borakh Marijskogo Zavolzh'ja [Results of 30 years of experience in thinning pine crops in the pine forests of the Mari Trans-Volga region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management]*, 2020, no. 3 (47), pp. 5–18. (In Russ.)

Demakov Ju.P., Romanov E.M., Krasnov V.G., Nureeva T.V. Opyt iskusstvennogo vosstanovleniya lesov v Srednem Povolzh'e i dal'nejshaja strategija dejstvij po ego sovershenstvovaniyu [Experience of artificial forest restoration in the Middle Volga region and further strategy of actions for its improvement]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management]*, 2021, no. 1 (49), pp. 23–46. (In Russ.)

Drejper N., Smit G. Prikladnoj regressionnyj analiz [Applied Regression Analysis]. Moscow: Statistika, 1973. 392 p. (In Russ.)

Ejtingen G.R. Izbrannye Trudy [Selected Works]. Moscow: Sel'hozgiz, 1962. 500 p. (In Russ.)

Erikson G. Aspekty rubok ukhoda i udobreniya nasazhdenij eli i sosny obyknovenoj, osnovannye na opytakh, provedennykh v Shvetsii [Aspects of thinning and fertilization of spruce and Scots pine stands based on experiments conducted in Sweden]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 72–84. (In Russ.)

Georgievskij N.P. Rubki ukhoda za lesom [Forest thinning]. Moscow-Leningrad: Sel'hozgiz, 1957. 142 p. (In Russ.)

Grinin A.S., Orekhov N.A., Novikov V.N. Matematicheskoe modelirovanie v ekologii [Mathematical modeling in ecology]. Moscow: JUNITI-DANA, 2003. 269 p. (In Russ.)

Grubb P.J. Root competition in soils of different fertility: a paradox resolved? *Phytocoenologia*, 1994, vol. 24, pp. 495–505. DOI: 10.1127/phyto/24/1994/495.

Gvozdev V.K. Vlijanie kompleksnogo ukhoda na fotosintez, transpiratsiju i nekotorye diagnosticheskie pokazateli zhiznesposobnosti sosnovyh kultur [The influence of complex care on photosynthesis, transpiration and some diagnostic indicators of viability of pine crops]. *Lesovedenie i lesnoe hozjajstvo*, 1980, iss. 15, pp. 48–52. (In Russ.)

Harper J.L. The effects of neighbors. *Population Biology of Plants*. London, 1977, pp. 151–347.

Haru P.A., Stoun R.Dzh., Mader D.A. Ekonomichnost' intensivnykh rubok ukhoda v lesnykh posadkakh [Costeffectiveness of intensive thinning in forest plantations]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 280–286. (In Russ.)

Ivanov A.I., Dubinin A.I. Ploshchad' sechenija zaboloni i ploshchad' zony tranzita vlagi v nej u sosny obyknovnoj [The cross-sectional area of sapwood and the area of the moisture transit zone in it in Scots pine]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 1992, no. 5, pp. 28–37. (In Russ.)

Jablokov A.V., Jusufov A.G. Evoljucionnoe uchenie [Evolutionary teaching]. Moscow: Vysshaja shkola, 1989. 335 p. (In Russ.)

Kadmon R. Plant competition along soil moisture gradients: a field experiment with the desert annual *Stipa capensis*. *Journal Ecology*, 1995, vol. 83, pp. 253–262.

Kajbijajnen L.K., Hari P., Sazonova T.A., Mjaketja A. Sbalansirovannost' sistemy vodnogo transporta u sosny obyknovnoj. III. Ploshchad' provodjashchej ksilemy i massa khvoi [Balance of the water transport system in Scots pine. III. Area of conducting xylem and mass of needles]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 1986, no. 1, pp. 31–37. (In Russ.)

Keddy P.A., Grace J.B., Tilman D. Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities. *Perspectives on Plant Competition*. San Diego, 1990, pp. 266–290.

Kim D.O., M'juller Ch.U., Klekka U.R., Oldenderfer M.S., Bleshfilzh R.K. Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz [Factor, discriminant and cluster analysis]. Moscow: Finansy i statistika, 1989. 215 p. (In Russ.)

Kuznetsov N.A. Prochistki v gustykh kul'turakh sosny i ikh vlijanie na assimiljatsionnuju poverkhnost' i tekushchij prirost [Clearings in dense pine cultures and their impact on the assimilation surface and current growth]. *Rubki i vosstanovlenie lesa v Srednem Povolzh'e*. Moscow, 1984, pp. 42–48. (In Russ.)

Kuznetsov N.A., Lisov N.A. Vlijanie rubok ukhoda na formirovanie i sanitarnoe sostojanie drevostoev gustykh kul'tur sosny v ochagakh majskogo khrushcha [The influence of thinning on the formation and sanitary condition of dense pine stands in the foci of cockchafer]. *Rubki i vosstanovlenie lesa v Srednem Povolzh'e*. Moscow, 1976, pp. 27–34. (In Russ.)

Mishch R. Opredelenie intensivnosti rubok ukhoda pri vedenii lesnogo khozjajstva [Determination of the intensity of thinning in forest management]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 84–89. (In Russ.)

Morozov V.A., Shimanskij P.S., Shtukin S.S. Rost sosny: vlijanie izrezhivaniya i mnogoletnego ljupina [Pine growth: the influence of thinning and perennial lupine]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1987, no. 9, pp. 36–38. (In Russ.)

*Morozov V.A., Shimanskij P.S., Shtukin S.S.* Vlijanie izrezhivaniya, sredstv khimii i biologicheskoy melioratsii na rost sosny [The influence of thinning, chemicals and biological melioration on the growth of pine]. *Lesovodstvo, lesovedenie, lesnye pol'zovaniya: Ekspress-informatsija*, 1988, iss. 5, pp. 2–11. (In Russ.)

*Nabatov N.M., Lepekhin V.V., Mironov O.V.* Vlijanie razrezhivaniya na protsess estestvennogo otpada v sosnjakakh [The influence of thinning on the process of natural mortality in pine forests]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1980, no. 2, pp. 14–16. (In Russ.)

*Popov V.K.* Linejno-vyborochnye rubki ukhoda v kul'turakh sosny [Linear selective thinning in pine crops]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1980, no. 2, pp. 28–31. (In Russ.)

*Rollinson T.Dzh.D.* Rubki ukhoda v Velikobritanii [Thinning in the UK]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 33–43. (In Russ.)

*Romanov E.M., Demakov Ju.P., Nureeva T.V., Zabolotskikh P.V.* O neobkhodimosti sozdaniya uchebno-opytnykh stacionarov dlja razrabotki i vnedrenija intensivnykh tekhnologij lesovyrashchivaniya i podgotovki spetsialistov lesnogo dela [On the need to create educational and experimental stations for the development and implementation of intensive forest cultivation technologies and the training of forestry specialists]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management]*, 2020, no. 2 (46), pp. 5–26. (In Russ.)

*Romanovskij M.G., Shchekalev R.V.* Sistema vida u drevesnykh rastenij [Species system in woody plants]. Moscow: *Tovarishchestvo nauchnykh izdanij KMK*, 2014. 212 p. (In Russ.)

*Sannikov S.N., Petrova I.V.* Differentsiatsiya populjatsij sosny obyknovnoj [Differentiation of Scots pine populations]. Ekaterinburg: Ural'skoe otdelenie RAN, 2003. 248 p. (In Russ.)

*Sen'nov S.N.* Rubki ukhoda za lesom [Forest thinning]. Moscow: Lesn. prom-st', 1977. 160 p. (In Russ.)

*Sen'nov S.N.* Ukhod za lesom (ekologicheskie osnovy) [Forest care (ecological principles)]. Moscow: Lesn. prom-st', 1984. 128 p. (In Russ.)

*Sen'nov S.N.* Rubki ukhoda pri vyrashchivanii tselevykh drevostoev [Thinning during cultivation of target stands]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 9–14. (In Russ.)

*Sen'nov S.N.* Itogi 60-letnikh nabljudenij za estestvennoj dinamikoj lesa. [Results of 60 years of observations of natural forest dynamics]. St. Petersburg: SPbNIIILH, 1999. 98 p. (In Russ.)

*Shinkarenko I.B., Dzedzjulja A.A.* Optimizatsiya rezhimov gustoty pri tsel'evom vyrashchivanii sosnovykh kul'tur [Optimization of density regimes in targeted cultivation of pine crops]. *Lesovedenie i lesovodstvo: Obzornaja informatsija CBNTI-leshoz*, 1983, no. 3, pp. 1–40. (In Russ.)

*Shinkarenko I.B., Govorova T.T., Golovchanskij I.N., Rjabokon' A.P.* Vlijanie razlichnykh rezhimov vyrashchivaniya osnovnykh kul'tur na produktivnost', differentsiatsiju i stroenie srednevozrastnykh drevostoev [The influence of different modes of growing pine crops on the productivity, differentiation and structure of middle-aged forest stands]. *Lesovodstvo i agrolesomelioratsija*, 1979, iss. 54, pp. 3–9. (In Russ.)

*Shmal'gauzen I.I.* Faktory evoljutsii. Teorija stabilizirujushchego otbora [Factors of evolution. The theory of stabilizing selection]. Moscow: Nauka, 1968. 454 p. (In Russ.)

*Shutov I.V.* Faktor vremeni v lesovodstve i otsenka ego znachenija v stacionarnykh opytakh [The time factor in forestry and assessment of its importance in stationary experiments]. *Lesnye stacionarnye issledovaniya: metody, rezul'taty, perspektivy*. Tula, 2001, pp. 16–22. (In Russ.)

*Suvorov V.I.* Fiziologicheskie osnovy rubok ukhoda v khvojnykh kul'turakh [Physiological basis of thinning in coniferous crops]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issle-dovatel'skih organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 24–27. (In Russ.)

*Tikhonova I.V.* Karlikovye sosny Shirinskoj lesostepi [Dwarf pines of the Shirinskaya forest-steppe]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 2013, no. 2, pp. 22–30. (In Russ.)

*Timofeev-Resovskij N.V., Vorontsov N.N., Jablovok A.V.* Kratkij ocherk teorii evoljucii [A Brief Outline of the Theory of Evolution]. Moscow: Nauka, 1977. 302 p. (In Russ.)

*Vakurov A.D.* Rubki ukhoda v kul'turakh raznoj gustoty [Thinning in crops of different density]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1967, no. 2, pp. 24–25. (In Russ.)

*Vomperskij S.Je., Ivanov A.I.* Svjaz' ploshchadi poperechnogo sechenija zaboloni s massoj khvoi sosny obyknovЕННОj [Relationship between the cross-sectional area of sapwood and the mass of needles of Scots pine]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 1984, no. 3, pp. 60–65. (In Russ.)

*Wedin D., Tilman D.* Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition. *Ecological Monographs*, 1993, vol. 63, pp. 199–229.

*Wilson B.J.* Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology*, 1988, vol. 25, pp. 279–296.

*Zajtsev G.N.* Matematicheskij analiz biologicheskikh dannykh [Mathematical analysis of biological data]. Moscow: Vysshaja shkola, 1991. 182 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 19.09.2024*

**Демаков Ю.П., Шейкина О.В., Шарапов Е.С.** Оценка влияния истреживания загущенных сосновых насаждений на разнообразие характера роста деревьев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 135–154. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.135-154

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования технологий плантационного лесовыращивания, включающих в том числе и рубки ухода, обеспечивающих повышение его экономической эффективности и производительности древостоев. Цель исследования – оценка влияния разных вариантов изреживания 15-летних искусственно созданных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на структурное разнообразие древостоя по характеру роста деревьев и их реакций на колебания климата. Исследования проведены на опытном объекте, расположенном в одном из лесничеств Республики Марий Эл, спустя 30 лет после проведения изреживания древостоя, интенсивность которого изменялась от 25 до 80% по количеству стволов, густота первоначально составляла 10 тыс. экз./га. Измерение радиального годичного прироста проведено у 60 деревьев (по 12 в каждом из пяти вариантов опыта) с погрешностью  $\pm 0,05$  мм. Установлено, что древостой во всех вариантах опыта очень неоднороден по характеру роста деревьев, среди которых выделяются группы, диаметрально отличающиеся друг от друга по экологическим требованиям к условиям среды. Ранее интенсивное изреживание загущенных древостоев, созданных в борах Республики Марий Эл, не оказало существенного влияния на разнообразие их структуры по характеру роста деревьев. Увеличение радиального прироста деревьев отмечалось только в первые восемь лет после этого мероприятия, а затем его величина на контрольных секциях была более высокой. Ценопопуляции древесных растений являются саморегулирующимися динамическими системами, величина текущего годичного прироста деревьев в которых управляется механизмом стабилизирующего отбора, действующего на основе обратных связей между ними: у особей с высоким значением прироста его величина в следующем году обычно снижается, что обеспечивает удержание этого параметра в рамках конкретных условий среды. Изреживание древостоя не оказывало существенного влияния на работу этого механизма.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, древостой, изреживание, радиальный годичный прирост деревьев, индивидуальные особенности.

**Demakov Yu.P., Sheikina O.V., Sharapov E.S.** Assessing the impact of thinning of dense pine stands on tree growth pattern diversity. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 135–154 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.135-154

There is a high need to improve plantation forest cultivation technologies, including thinning, that ensures an increase in its economic efficiency and productivity of forest stands. The objective of the research is to assess the impact of different thinning options of 15-year-old artificially regenerated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands on the structural diversity of the forest stand in terms of tree growth patterns and their responses to climate fluctuations. The authors studied an

experimental site based in one of the Mari El forestries, 30 years after the thinning of the forest stand, the intensity of which varied from 25 to 80% by the number of trunks with the initial density of 10 thousand specimens/ha. The radial annual growth was measured on 60 trees (12 in each of the five experimental variants) with an error of  $\pm 0.05$  mm. The authors proved that the forest stand in all experimental variants was heterogeneous in the nature of tree growth, among which there are groups that are diametrically different from each other in terms of ecological requirements for environmental conditions. Early intensive dense forest stands thinning generated in the pine forests of the Mari El Republic did not have a significant impact on the diversity of their structure in terms of tree growth patterns. However, an increase in the radial growth of trees was traceable within the first eight years after thinning, later on its value in the control sections was higher. Coenopopulations of woody plants are self-regulating dynamic systems, the value of the current annual growth of trees in which is guided by the mechanism of stabilizing selection, based on the feedback among them. The specimens with a high growth rate normally will show a decrease in value in the following year, which ensures that this parameter is maintained within the framework of specific environmental conditions. Thus, we are concluding that the thinning of the tree stand has not had a significant impact on the way this mechanism works.

**Key words:** Scots pine, forest stand, thinning, radial annual growth of trees, specimen characteristics.

---

**ДЕМАКОВ Юрий Петрович** – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор биологических наук. SPIN-код: 1270-0945. ORCID: 0000-0002-7153-5729.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

**ДЕМАКОВ Yury P.** – DSc (Biological), Professor of the Department of Forest Plantations, Selection, and Biotechnology, Volga State University of Technology. SPIN-code: 1270-0945. ORCID: 0000-0002-7153-5729.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

**ШЕЙКИНА Ольга Викторовна** – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доктор биологических наук. SPIN-код: 2215-3308. ORCID: 0000-0002-7507-8588.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: ShejkinaOV@volgatech.net

**SHEIKINA Olga V.** – DSc (Biological), Professor of the Department of Forest Plantations, Selection, and Biotechnology, Volga State University of Technology. SPIN-code: 2215-3308. ORCID: 0000-0002-7507-8588.

424000, Lenin sq. 3, Yoshkar-Ola, Russia. E-mail: ShejkinaOV@volgatech.net

**ШАРАПОВ Евгений Сергеевич** – профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения Поволжского государственного технологического университета, доктор технических наук. SPIN-код: 4400-2367. ORCID: 0000-0002-6500-5377.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: SharapovES@volgatech.net

**SHARAPOV Evgenii S.** – DSc (Technical), Professor of the Department of Structural Engineering and Water Supply, Volga State University of Technology. SPIN-code: 4400-2367. ORCID: 0000-0002-6500-5377.

424000, Lenin sq. 3, Yoshkar-Ola, Russia. E-mail: SharapovES@volgatech.net

**В.Ф. Байрамова, С.С. Исаев**

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НАСАЖДЕНИЙ УСАДЬБЫ СТРЕШНЕВЫХ (ЗНАМЕНСКОЕ-РАЁК)**

*Введение.* Прикладные научные исследования, проводимые в рамках работ по сохранению произведений ландшафтного и садово-паркового искусства, ведутся сразу в нескольких направлениях. Первоочередной задачей является изучение историко-архивных и иконографических материалов, дающих представление об объемно-пространственной структуре сохраняемого объекта. Другой, не менее важной областью предварительных исследований становится комплексная оценка состояния парковых насаждений. В настоящее время оценка исторических парковых насаждений по их видовому разнообразию проводится в общих чертах, без учета устойчивости различных видовых комбинаций в растительных сообществах. Однако природные комплексы старинных усадебных парков за время своего существования претерпели значительные изменения видового состава, вызванные, в первую очередь, изменениями внутри сложного растительного ценоза. Геоботаническая оценка насаждений, учитывающая сохранность композиционных решений, может дать более полную картину об устойчивости экосистемы как основу для проектных реставрационных решений.

Усадьба Стрешневых, имеющая второе и более распространенное название «Знаменское-Раек», является объектом культурного наследия федерального значения и находится в Торжокском районе Тверской области. Строительство усадебного комплекса, принадлежавшего семье Глебовых-Стрешневых, началось в конце XVIII века и связано с именем выдающегося русского архитектора-самоучки Николая Александровича Львова.

Впервые усадьба Стрешневых как образец пейзажного паркостроения в России была представлена в виде фотографии в монографии В.Я. Курбатова «Всеобщая история ландшафтного искусства» в 1910 году [Курбатов, 2007]. Более детальное исследование работы Львова в усадьбе было опубликовано в сборнике статей А.Н. Греча «Венок усадьбам» [2006]. Описание композиционных особенностей усадебного парка, приведённое А.Н. Гречом, было основано на личных натуральных исследованиях, без анализа графических материалов. Первый план и обмеры элементов парка в Знаменском-Раёке появились в 1955 году и несколько позднее были опубли-

кованы в книге «Архитектор Н.А. Львов» [Будылина и др., 1961]. С этого момента все исследования парковой структуры проводятся на основании чертежей А.М. Харламовой, других планов и иконографических материалов до сих пор не найдено. Так, например, в книге «Русские сады и парки» [Вергунов, Горохов, 2007] анализ объемно-пространственных решений парка также ведется на основании чертежей Харламовой.

Крупные исследователи творчества Львова, такие как А. Глумов, А.Б. Никитина, А.А. Калугина, посвящали свои работы анализу архитектурного наследия архитектора, не затрагивая особенности объемно-пространственной структуры парка. Геоботанические обследования проводились в усадьбе в рамках исследований флоры Тверской области в целом, без анализа пространственных построений [Волкова, Нотов, 2006].

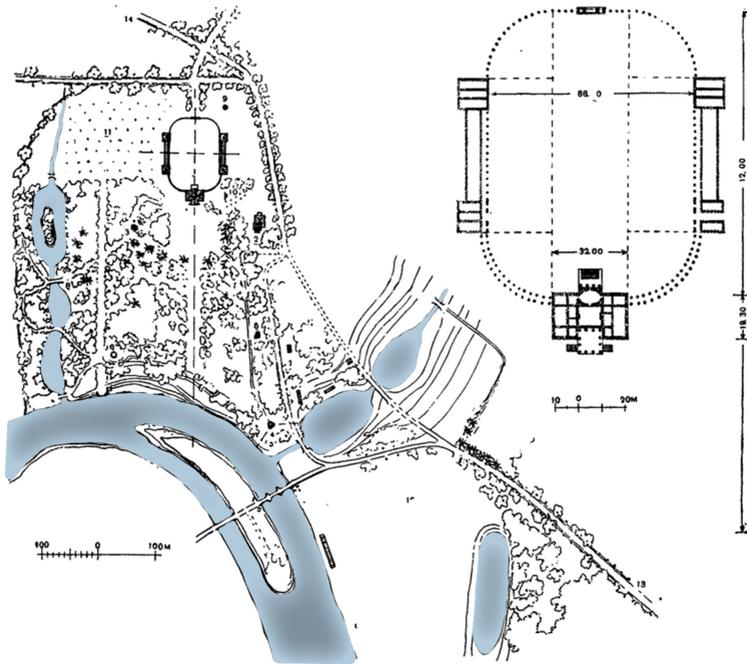
Усадьба Стрешневых в настоящее время находится под юрисдикцией Всероссийского историко-этнографического музея. В планах ВИЭМ на ближайшие годы стоит реставрация сохранившихся архитектурных сооружений. Целью реставрационных работ является создание музея, экспозиции которого будут посвящены создателям и хозяевам усадьбы, а также истории формирования уникального явления в архитектуре – русского палладианства. Планы реставрации, безусловно, предусматривают работы по сохранению усадебного парка. Анализ состояния насаждений позволит составить грамотную стратегию реставрационных работ.

*Материалы и методика исследования.* Анализ состояния насаждений проводился в трёх взаимосвязанных направлениях: общая оценка сохранности объемно-пространственных решений, оценка состояния древесного яруса, как основы объемно-пространственной структуры, и оценка состояния травяного покрова, как индикатора устойчивости сложившейся экосистемы.

Для оценки сохранности объемно-пространственной структуры применялся сравнительный анализ на основании имеющихся графических материалов и визуального осмотра парковой структуры. В основу оценки положен метод В.А. Агальцовой, базирующийся на словесном описании ситуации [Агальцова, 1980]. Для оценки состояния древесного яруса и травяного покрова частично использовалась методика Н.Н. Гусева, основанная на лесоводческих принципах оценки насаждений [Гусев и др., 1993].

*Результаты исследования.* Для оценки сохранности планировочной и объемно-пространственной структуры были использованы планы 1955 г., составляющие основной графический материал в монографии «Архитектор Н.А. Львов» [Будылина и др., 1961]. На этом плане планировочное соотношение различных типов пространственной структуры читается неясно.

Также неясно, являются ли натурные обмеры отражением сложившейся к середине XX века ситуации или представляют собой фантазийное отображение замысла архитектора. После 1917 года усадьба Стрешневых имела различную ведомственную принадлежность: в разные годы в усадьбе в довоенное время располагались дом отдыха трудящихся, картинная галерея и детская колония для трудновоспитуемых подростков [Калугина, 2021]. Несмотря на разнообразное функциональное назначение усадьбы, парковая территория выполняла рекреационную функцию, и по этим причинам планировочная структура мало видоизменялась. В период с конца 1930-х до 1950-х гг. практически полностью были утрачены садовые павильоны, составляющие важную часть планировочной структуры. Частично описание объемно-пространственных решений, сохранившихся на первую половину XX века, озвучено в работе Алексея Николаевича Греча [2006].



59. Усадьба Знаменское (Раёк). Генеральный план усадьбы и ее (схематический обмер и реконструкция) центральной части

1 — главный усадебный комплекс; 2 — церковь; 3 — погреб-ротонда; 4 — трехчастный павильон; 5 — теплый павильон; 6 — храм Цереры; 7 — мост через Логовей; 8 — мост-грот; 9 — круглая будка; 10 — полукузольное сооружение из валунов; 11 — фруктовый сад; 12 — место старой усадьбы; 13 — подъездная дорога от Московского шоссе; 14 — дорога на Васильеву гору

Рис. 1. План усадьбы Стрешневых (Знаменское-Раёк)  
Fig. 1. Plan of the Streshnev estate (Znamenskoye-Rayok)

Совмещая анализ графических материалов и текст А.Н. Греча [2006, с. 126–127], можно констатировать следующее:

- Главный усадебный дом объединен с двумя флигелями и входными воротами посредством колоннады, таким образом образуя обширное внутреннее открытое пространство – партерный перистильный двор. При изучении иконографического материала видно, что этот партер в разные периоды существования усадьбы представлял собой цветник, лужайку, манеж для выезда лошадей. «Громадный овал двора превратился в луг»;

- Главная композиционная ось соединяет входные ворота, усадебный дом и берег реки Логовежь. Композиционная ось, играя в архитектурном плане роль оси симметрии, проходит через квадратный внешний партер (со стороны речного фасада), далее по пологому спуску в виде аллеи доходит до оврага в береговой части и затем развивается только как визуальная ось. Характер спуска к воде и преодоление оврага остаются неясными. А.Н. Греч в своем исследовании пишет: «Широкая просека по главной оси приводит к реке. Отсюда, в оформлении лип снова вид на дом, ярко освещенный солнцем, – скрадывается пространство луга, и архитектура воспринимается как умело скомпонованный на картине пейзаж»;

- От партера перед речным фасадом отходит пятилучие, причем только два луча оформлены в виде дорог в лесной части; два луча представлены в виде просек и скорее всего обеспечивали визуальные связи усадебного дома с малыми павильонами, находящимися в лесном массиве. У Греча по этому поводу написано следующее: «Умелые, продуманные пейзажные расчеты видны в этой части парка и поныне; с одной стороны, рисуясь ажуром колонн на фоне голубого неба, кажется беседка-ротонда радостным и изящным храмом-игрушкой; с другой стороны, венчая вход из дикого камня, обрамленный елями, кажется он «мрачно-романтичным», согласно вкусам конца XVIII столетия»;

- Параллельно главной композиционной оси лесной массив прорезает широкая аллея, делящая пространство от главного дома до границы усадебного парка на равные части. В отличие от главной композиционной оси эта аллея доводит до высокого берегового уступа. Ось этой второстепенной аллеи соединяет усадебный парк на высоком берегу с противоположным пологим берегом. Противоположный берег реки Логовежь, попадающий в луч обзора графически изображен как обширное открытое пространство (заливной луг), однако в экспликации к плану указано, что там находится сосновая роща. Абрис рощи неясен, но, учитывая располо-

жение речных террас и заливного луга, можно предположить, что роща была на некотором удалении от береговой линии, и просека парка визуально упиралась в достаточно широкий сенокосный луг, куда вел каменный мост из северной части усадьбы;

- Вдоль южной границы усадьбы устроен каскад из трех прудов, соединенных ручьями и обеспечивающих сброс воды в реку. В первом верхнем пруду устроен, вероятно, искусственный остров, на котором растет старовозрастная сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – памятник живой природы. В Национальном реестре старовозрастных деревьев России она находится под № 966. По семейному преданию, опубликованному на официальном сайте усадьбы, было посажено три сосны, символизовавших Веру, Надежду и Любовь. Ветви этих деревьев были специально переплетены. Документальных подтверждений этому факту не найдено;

- Северный и южный фасады флигелей выходят на обширные поляны;
- Русло реки Логовежь разделено на два рукава островом, вероятно, естественного происхождения. Остров южной своей оконечностью лежит на главной композиционной оси;

- Северная граница поместья также обозначена как система прудов, однако насаждения там не указаны и остаются неясными.

Натурные обследования позволяют дать следующую оценку состояния сохранности объемно-планировочной структуры:

- Внутренний партер перистильного двора сохраняется и поддерживается как лужайка;

- Партер у речного фасада поддерживается, хотя, возможно, и изменил свои размеры, форму и видовой состав;

- Аллея главной композиционной оси сохраняется, и, несмотря на то, что дорожное покрытие полностью утрачено, аллея регулярно выкашивается и имеет довольно высокую рекреационную нагрузку, что выражено местами в оголении до земли и полном отсутствии травяного покрова;

- Овраги, которые были указаны на плане 1955 г., оплыли, спуска, даже в виде деревянных настилов и лестниц, нет, поэтому эта часть аллеи представляет собой опасный участок с точки зрения безопасности посетителей. Такая эксплуатация приводит к нарушению исторического рельефа и деградации напочвенного покрова;

- Второстепенная композиционная ось к северу от усадебного дома в настоящее время не «читается» и заросла. Остаются лишь отдельные старовозрастные деревья, изредка сохраняющие рядовой характер посадки;

- То же можно сказать и о всех лучах – визуальных и дорожных, которые отходили от партера у речного фасада. В массиве можно наблюдать рядность единичных растений, однако полностью просеки и просветы не «читаются»;

- Южный каскад прудов не сохранил своих очертаний, плотины между прудами полуразрушены, хотя переливы работают. Верхний пруд сохранил свои очертания лишь частично, у искусственного острова береговая линия оплывшая. Более того, изменена со временем оказалась не только конфигурация верхнего пруда, но и, вероятно, его размеры. Сейчас пруд занимает меньшую площадь, чем в 1955 г.;

- К северной стороне верхнего пруда примыкает система полян, визуально соединяющих пруд с усадебным домом. На плане 1955 г. этой системы полян не существовало. Это весьма удачное композиционное решение последних лет. Более того, возраст ели и дубов здесь говорит о том, что этот принцип был заложен изначально и только повторен во второй половине XX столетия; открываются выгодные виды от усадебного дома на верхний пруд с островом;

- Поляны у южного флигеля сохраняются, у северного заросли (вероятно, имели функцию плодового сада);

- Южная система прудов находится за пределами границ охраняемого объекта.

Поскольку целью исследования не было выявление всего видового разнообразия парковых насаждений на общей площади около 20 га, основные выводы исследования делались на основании визуальной оценки. При первичном осмотре насаждений можно констатировать, что парк, будучи искусственно созданным растительным сообществом, видовой состав которого в природе в подобных сочетаниях и обилии на этой широте встречается редко, демонстрирует высокую для своего возраста устойчивость. Это говорит о грамотном экологическом подходе при создании парка, направленном на сохранение декоративности в течение как можно более длительного времени.

Парк был создан на основе естественных реликтовых растительных сообществ широколиственных лесов (липняков) с единичным включением нетипичных и экзотических для этой местности видов – лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), сосны веймутовой (*Pinus strobus* L.). Подобный подход является одной из основных, наиболее вероятных причин хорошей сохранности древостоя. Естественные включения ели обыкновенной (*Picea*

*abies* (L.) Karst.) в массиве липы мелколистной дополняются искусственными посадками ели в аллеях и при создании фокусных точек. Состояние ели обыкновенной в силу возрастных характеристик (около 200 лет) является неудовлетворительным, но этот процесс необратим. В массиве сохраняются экземпляры ели обыкновенной, способные к самовозобновлению, что можно наблюдать на активном самосеве. Это указывает на возможность естественного восстановления вида в сообществе или использования этого подраста (тщательно отбирая растения с подходящим характером ветвления) для восстановления линий аллей и пр. Общее состояние всех древесных насаждений, учитывая возраст массива, можно охарактеризовать как удовлетворительное, что в большей мере обеспечивает травяной покров. Отмечено складирование древесных остатков в парке, что является весьма прогрессивным методом ухода за старовозрастными насаждениями.

При оценке состояния напочвенного покрова важно отметить беспрецедентное разнообразие травянистых растений, представляющее сложное многоярусное сообщество на всей территории усадьбы. При этом присутствуют не только те виды, которые представляют основу данных (коренных) растительных сообществ, но отмечается равномерное, в границах всей усадьбы наличие других, нехарактерных для этого ценоза, но обладающих высокодекоративными качествами видов травянистых растений. Стоит также отметить, что и тривиальные, и высокодекоративные виды сосредоточены на территории усадьбы в равных пропорциях без перевесов, при дальнейшей работе с парком важно сохранить это равновесие, не дав возможности «победить» сныти или пастбищным злакам, превратив напочвенный покров в зеленую массу с отсутствием пестрого цветения и изменения во времени, что можно наблюдать на участках, где проводилась работа по расчистке (у дворца).

Так, например, здесь встречаются на 1 кв. м в разных частях усадьбы (с разными почвенными и гидрологическими условиями):

- индикаторы широколиственных лесов – сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), зеленчук желтый (*Galeobdolon luteum* Huds.), копытень обыкновенный (*Asarum europaeum* L.). Здесь нужно отметить, что сныть нигде не доминирует, что часто происходит в заброшенных парках;

- высокодекоративные виды – печеночница благородная (*Hepatica nobilis* Schreb.), анемона лютичная (*Anemone ranunculoides* L.), медуница неясная (*Pulmonaria obscura* Dumort.), сочевичник весенний (*Lathyrus vernus*) (L.) Bernh.), яснотка пятнистая (*Lamium maculatum* L.), земляника

мускусная (*Fragaria moschata* (Duchesne) Weston), лютик кашубский (*Ranunculus cassubicus* L.), купена многоцветковая (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.), герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.), ландыш майский (*Convallaria majalis* L.), звездчатка жестколистная (*Stellaria holostea* L.), пролесник многолетний (*Mercurialis perennis* L.), колокольчик широколистный (*Campanula latifolia* L.) несколько видов фиалок (*Viola canina* L., *V. mirabilis* L., единично – *V. odorata* L.), на открытых местах – примула весенняя (*Primula veris* L.) и другие значимые аспектообразователи, обеспечивающие декоративное цветение и (или) зеленую мозаику листьев в течение длительного времени. Не обнаружена типичная для усадебных парков этой эпохи лилия кудреватая (*Lilium martagon* L.);

- единично отмечены воронец колосистый (*Actaea spicata* L.), аконит северный (*Aconitum septentrionale* Koelle), вороний глаз четырехлистный (*Paris quadrifolia* L.), щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott);
- на сырых местах обильны таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim) и гравилат речной (*Geum rivale* L.).

Подобный сохранившийся травяной состав свидетельствует о первоначальном замысле при создании декоративного облика парка. Другими словами, можно наблюдать композиционный прием инклюзии, когда человек через органы чувств и переживания включен в ландшафтную среду.

Травянистый покров сам по себе является крайне устойчивым растительным образованием, что в свою очередь создает гарантию сохранения верхнего древесного исторического яруса. Во всех методиках по проведению комплексной оценки состояния насаждений при реставрационных работах [Гусев и др., 1993; Методика..., 1997] подчеркивается важность оценки напочвенного покрова как индикатора сохранности и состояния старовозрастных насаждений. Более того, напрямую указывается, что состояние напочвенного покрова является отражением состояния древесного яруса. В связи с этим необходимо отметить, что при грамотной реставрации подобный баланс видового разнообразия травяного покрова может сохраняться неограниченно долго, а, следовательно, это может создать благоприятные условия как для обеспечения сохранности старовозрастных особо ценных и мемориальных деревьев, так и для адаптации новых посадок.

*Обсуждение.* В октябре 2022 года ведущими специалистами РААСН была сформирована заявка на включение в предварительный список всемирного наследия UNESCO исторического центра г. Торжок и памятников усадебной архитектуры Николая Львова [Альтер, Петров, 2022]. Усадьба

Стрешневых (Знаменское-Раек) включена в перечень объектов заявки. В документе приводится серьезная аргументация для принятия незамедлительных решений по сохранению объекта культурного наследия. Однако усадебный комплекс необходимо рассматривать как архитектурно-парковый ансамбль, где сохранности насаждений необходимо уделять столько же внимания, сколько и сохранности архитектурных сооружений.

*Заключение.* Обследование насаждений и оценка их состояния на территории усадьбы Стрешневых позволяют составить рекомендации к текущему уходу и плану реставрационных работ:

1. Необходимо прочистить массив от стихийного зарастания подлеском и подростом (сеянцы клена остролистного (*Acer platanoides* L.), липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.), ели обыкновенной, рябинника рябинолистного (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun)). Это поможет, во-первых, выявить сохранившуюся объемно-пространственную структуру парка, а, во-вторых, позволит сохранить стабильным травяной покров. В противном случае, если дать образоваться древесному ярусу, не пропускающему свет под полог, травяной покров может деградировать. Эту операцию необходимо проводить не единовременно, а постоянно. Особенно надо обратить внимание на самосев клена остролистного, который является серьезной преградой для существования травяного покрова; по возможности, следует прибегнуть к прополке;

2. Необходимо маркировать все ценные старовозрастные деревья, представляющие в первую очередь ценность сохранения ландшафта, а во вторую – высокую декоративность или мемориальную ценность;

3. При восстановлении гидросистемы может измениться уровень уреза воды, что повлечет за собой гибель старовозрастных деревьев. Это закономерный процесс, который повлечет за собой естественное обновление массива. В связи с этим сохранять любыми средствами старовозрастные насаждения в береговой части р. Логовежь не представляется целесообразным;

4. Необходимо максимально сохранить напочвенный покров, который, как уже было сказано выше, является главным пунктом в обеспечении экологической устойчивости всего растительного сообщества парка. Для этих целей необходимо выделить зоны строгой охраны по всей территории парка, где при любых реставрационных манипуляциях травяной покров останется нетронутым и станет своеобразным «донором». В будущем, в постреставрационный период рекомендуется назначить эти территории особо охраняемыми со специально составленным регламентом ухода;

5. Сложившийся в усадьбе травостой представляет собой растительное сообщество, обладающее высокодекоративными качествами в течение всего вегетационного периода. Видовой состав обеспечивает яркое цветение с ранней весны (печеночница благородная) до конца июля (колокольчик широколистный, аконит северный, таволга вязолистная и др.). Однако в данном составе есть временные лакуны без цветения. В связи с этим и для увеличения времени декоративности напочвенного покрова необходимо включить в состав травостоя лилию кудреватую (конец июня), провести работу по восстановлению численности аконита северного, возможно, высадить аконит шерстистоустый (*Aconitum lasiostomum* Rchb. ex Besser) и живокость высокую (*Delphinium elatum* L.). Также можно использовать кровохлебку лекарственную (*Sanguisorba officinalis* L.). На лесных участках можно подсеивать виды рода Хохлатка, прежде всего *Corydalis solida* (L.) Clairv. и *Corydalis cava* (L.) Schweigg. & Körte, пролеску сибирскую (*Scilla siberica* Haw.), обеспечивающие высокую декоративность лесного массива в апреле. На открытых местах возможна посадка ветреницы лесной (*Anemone sylvestris* L.) и тюльпана лесного (*Tulipa sylvestris* L.), дающих высокий декоративный эффект во второй декаде мая. На крутых затененных склонах у р. Логовежь возможна посадка исчезнувшей в Тверской области картузы Маттиоли (*Cortusa matthioli* L.). Сложившееся видовое разнообразие может обеспечить различные цветовые аспекты в течение всего вегетационного сезона во всей цветовой гамме, что сделает это место более привлекательным с туристической точки зрения.

*Вклад авторов.* Байрамова В.Ф. – оценка сохранности объемно-планировочной структуры усадьбы Стрешневых; Исаев С.С. – описание и оценка состояния насаждений усадьбы.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Агальцова В.А. Сохранение мемориальных лесопарков. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 254 с.

Альтер О.С., Петров А.С. Новая номинация UNESCO «Исторический центр Торжка и усадебная архитектура Николая Львова». Первоочередные задачи и пути решения // Журнал Института Наследия. 2022. №3. URL: <http://nasledie-journal.ru/ru/journals/539.html> (дата обращения: 01.03.2024). DOI: 10.34685/NI.2022.85.50.029.

Будылина М.В., Брайцева О.И., Харламова А.М. Архитектор Н.А. Львов [1751–1803]. М.: Госстройиздат, 1961. 184 с.

Вергунов А.П., Горохов В.А. Русские сады и парки. 2-е изд., испр. и доп. М.: Наука, 2007. 422 с.

Волкова О.М., Нотов А.А. О флоре усадебных парков Торжокского района Тверской области // Вестник ТвГУ. Серия «Биология и экология». 2006. №2. С. 96–100.

Греч А.Н. Венок усадьбам. М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2006. 336 с.

Гусев Н.Н., Еремеев А.Г., Миронов С.Н. Старинные парки (восстановление, содержание, охрана). М.: Экология, 1993. 253 с.

Калугина А.А. Усадьба Знаменское-Раёк // Новоторжская столица «Русского Палладио»: по следам Льва. Наследие Н.А. Львова. М., 2021. С. 382–393.

Курбатов В.Я. Всеобщая история ландшафтного искусства. Сады и парки мира. М.: Эксмо, 2007. 736 с.

Методика инвентаризации городских зеленых насаждений. М., 1997. 14 с.

### References

Agaltsova V.A. Preservation of memorial forest parks. Moscow: Lesn. prom-t', 1980. 254 p. (In Russ.)

Alter O.S., Petrov A.S. New UNESCO nomination “Historical center of Torzhok and estate architecture of Nikolai Lvov.” Primary tasks and solutions. *Journal of the Heritage Institute*, 2022, no. 3. URL: <http://nasledie-journal.ru/ru/journals/539.html> (accessed March 01, 2024) DOI: 10.34685/HI.2022.85.50.029. (In Russ.)

Budylnina M.V., Braitseva O.I., Kharlamova A.M. Architect N.A. Lvov [1751–1803]. Moscow: Gosstroyizdat, 1961. 184 p. (In Russ.)

Grach A.N. Wreath for estates. Moscow: AST-PRESS KNIGA, 2006. 336 p. (In Russ.)

Gusev N.N., Eremeev A.G., Mironov S.N. Old parks (restoration, maintenance, protection). Moscow: Ecology, 1993. 253 p. (In Russ.)

Kalugina A.A. Znamenskoye-Rayok estate. *Novotorzhskaya capital of «Russian Palladio»: in the footsteps of Leo. Legacy of N.A. Lvova*. Moscow, 2021, pp. 382–393. (In Russ.)

Kurbatov V.Ya. General history of landscape art. Gardens and parks of the world. Moscow: Eksmo, 2007. 736 p. (In Russ.)

Methodology for inventory of urban green spaces. Moscow, 1997. 14 p. (In Russ.)

Vergunov A.P., Gorokhov V.A. Russian Gardens and Parks. 2nd ed., rev. and add. Moscow: Nauka, 2007. 422 p. (In Russ.)

Volkova O.M., Notov A.A. On the flora of manor parks in the Torzhok district of the Tver region. *Bulletin of Tver State University. Series “Biology and Ecology”*, 2006, no. 2, pp. 96–100. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 20.03.2024*

---

**Байрамова В.Ф., Исаев С.С.** Анализ состояния насаждений усадьбы Стрешневых (Знаменское-Раёк) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 155–167. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.155-167

Статья посвящена предпроектному анализу состояния насаждений объекта культурного наследия «Усадьба Стрешневых (Знаменское-Раек)». На основании проекта заявки на включение в перечень охраняемых UNESCO объектов усадьба представляет большой историко-культурный интерес. Существующие методы оценки состояния включают в себя историко-архитектурный анализ объемно-пространственной структуры парка и геоботанические исследования видового разнообразия растительного сообщества парковой территории. В данной статье проведен анализ состояния насаждений по трем взаимосвязанным направлениям: оценка состояния сохранности планировочной структуры парка, оценка состояния древостоя, составляющего основу объемно-пространственной структуры усадебного комплекса, оценка напочвенного покрова, как фактора устойчивости исторического растительного ценоза. Оценка сохранности планировочной структуры проводилась на основании графических материалов, опубликованных в наиболее полной монографии, посвященной усадебному наследию Н.А. Львова и натуральных исследований, проводившихся в начале XX века. Оценка состояния древостоя и травяного покрова осуществлялась частично на основании методических указаний по выявлению и обследованию исторических парков и парковых ландшафтов на территории ОКН. На основании первичного обследования было выявлено лишь частичное сохранение планировочной и объемно-пространственной структуры парковой территории. Состояние древостоя и напочвенного покрова позволяет сделать вывод об относительно высокой степени устойчивости старовозрастных насаждений благодаря беспрецедентно высокому разнообразию состава естественно произрастающих на территории усадьбы видов. На основании обследования были составлены рекомендации по текущему уходу за старовозрастными насаждениями, а также к методам реставрационных работ.

**Ключевые слова:** усадебный комплекс, оценка состояния насаждений, объемно-пространственная структура, видовое разнообразие.

**Bayramova V.F., Isaev S.S.** Analysis of the condition of plantings of the Streshnev estate (Znamenskoye-Rayok). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 155–167 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.155-167

The article is devoted to a pre-project analysis of the state of plantings at the cultural heritage site of the Streshnev estate (Znamenskoye-Raek). Based on the Draft Application for inclusion in the list of UNESCO protected sites, the estate is of great historical and cultural interest. Existing methods for assessing the condition include historical and architectural analysis of the volumetric-spatial structure of the park and geobotanical studies of the species diversity of the plant community of the park area. This article analyzes the state of plantings in three interrelated areas: assessing the state of preservation of the planning structure of the park, assessing the state of the tree stand, which forms the basis of the volumetric-spatial structure of the estate complex,

assessing the ground cover as a factor in the stability of the historical plant cenosis. The assessment of the safety of the planning structure was carried out on the basis of graphic materials published in the most complete monograph dedicated to the estate heritage of N.A. Lvov and field research conducted at the beginning of the 20th century. The assessment of the state of the tree stands and grass cover was carried out partly on the basis of guidelines for identifying and surveying historical parks and park landscapes on the territory of the OKN. Based on the initial survey, only partial preservation of the planning and volumetric-spatial structure of the park area was revealed. The state of the tree stand and ground cover allow us to conclude that there is a relatively high degree of sustainability of old-growth plantings due to the unprecedentedly high diversity of species composition of species naturally growing on the estate. Based on the survey, recommendations were made for the ongoing care of old-growth plantings, as well as methods for restoration work.

**Keywords:** estate complex, assessment of the condition of plantings, volumetric-spatial structure, species diversity.

---

**БАЙРАМОВА Варвара Федоровна** – старший преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 5516-8395. ORCID: 0009-0002-9624-4896.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: novator72@mail.ru

**BAYRAMOVA Varvara F.** – Senior Lecturer, Department of Landscape Architecture, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 5516-8395. ORCID: 0009-0002-9624-4896.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: novator72@mail.ru

**ИСАЕВ Сергей Сергеевич** – инженер, НОЦ Ботанический сад Петра I Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

119234, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 12, г. Москва, Россия. E-mail: isaev.s777@yandex.ru

**ISAEV Sergey S.** – engineer, Scientific and Educational Center Botanical Garden of Peter I, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University.

119234. Leninskie Gory str. 1, build. 12. Moscow. Russia. E-mail: isaev.s777@yandex.ru

**Ю.А. Балашкевич, Л.П. Балухта**

**К ВОПРОСУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
ОСНОВНЫХ ВИДОВ БОЛЕЗНЕЙ  
В ЛЕСАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

*Введение.* Леса России имеют огромный потенциал, способный принести значительный вклад в устойчивое социально-экономическое развитие нашей страны и решение экологических проблем, включая регулирование изменений глобального климата и смягчение их последствий. Вместе с тем существует острый дефицит актуальной и достоверной информации о состоянии и динамике лесов страны [Барталев, 2020].

Лесные насаждения России подвергаются воздействию комплекса неблагоприятных факторов, в результате чего теряют устойчивость. Происходят процессы дигрессии, насаждения лишаются способности сопротивляться патогенным организмам [Головина, Иванов, 2019].

Защита лесов от вредителей и болезней леса обеспечивается систематическим мониторингом его состояния, своевременным выявлением очагов вредителей и болезней леса, их локализацией и ликвидацией [Оралова и др., 2016; Обзоры..., 2018–2022].

В рамках проведения мониторинга лесов ведется лесопатологический мониторинг [Володькина, 2017].

В настоящее время проблема своевременной и эффективной защиты лесов от вредных организмов не исчезает, а ежегодная площадь погибших и поврежденных лесов из-за массового размножения вредителей и болезней леса не уменьшается. По официальным данным, ежегодная площадь поврежденных и погибших лесов составляет около 1% от всей лесопокрытой площади РФ.

*Цель работы* – анализ площадей повреждённых и погибших насаждений на территории субъектов Центрального федерального округа (далее – ЦФО) в 2022 г. и причин, их определяющих.

Анализ санитарного состояния насаждений на территории ЦФО позволит определить общую динамику изменения площади насаждений с ослабленной и утраченной устойчивостью, выявить основные причины ослабления и гибели, а также выявить основные виды вредителей и болезней.

*Материалы и методика исследований.* ЦФО играет важную роль в жизни нашей страны. Это самый большой округ по числу входящих в него субъектов РФ.

Санитарное состояние насаждений субъекта РФ оценивается по результатам государственного лесопатологического мониторинга (ГЛПМ) и статистической отчетности региона. При формировании Обзора санитарного и лесопатологического состояния лесов по субъектам используются данные государственного лесопатологического мониторинга, материалы статистической отчетности Центра защиты леса филиала ФБУ «Рослесозащита», статистическая отчетность Министерства природопользования региона, Обзор санитарного и лесопатологического состояния насаждений региона за предыдущие годы.

Для уточнения площади насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью, а также уточнения площади погибших насаждений, причин повреждения и основных видов вредителей и болезней проанализированы обзоры санитарного состояния за 2022 г. по 17 субъектам ЦФО (Белгородская область, Брянская область, Владимирская область, Воронежская область, Ивановская область, Калужская область, Костромская область, Курская область, Липецкая область, Московская область, Орловская область, Рязанская область, Смоленская область, Тамбовская область, Тверская область, Тульская область, Ярославская область) [Головина, Иванов, 2019].

Санитарное состояние насаждений области оценивается по результатам ГЛПМ и отчетов управления лесами субъекта. При ГЛПМ обеспечивается сбор информации о санитарном и лесопатологическом состоянии лесов. Лесопатологический мониторинг проводится на всей покрытой лесной растительностью площади земель лесного фонда субъекта.

При написании Обзора санитарного и лесопатологического состояния лесов по субъектам используются данные ГЛПМ, материалы статистической отчетности Центра защиты леса филиала ФБУ «Рослесозащита» (формы 1- и 2-ОЛПМ, 2-, 3- и 6-ЛПМ, сводные реестры лесных участков, занятых поврежденными и погибшими насаждениями, и лесных участков, на которых рекомендуется проведение мероприятий по защите лесов), статистическая отчетность Министерства природопользования области (формы 1-ГЛР, 7-ОИП, 10-ОИП, 4-ИСДМ, 12-ЛХ), Обзор санитарного и лесопатологического состояния насаждений области за предыдущие годы.

В качестве нормативно-правовой документации используются Порядок осуществления государственного лесопатологического мониторинга, утвержденный приказом Минприроды России от 05 апреля 2017 года

№ 156, Правила ликвидации очагов вредных организмов, утвержденные приказом Минприроды России от 09 ноября 2020 года № 913, Правила осуществления мероприятий по предупреждению распространения вредных организмов, утвержденные приказом Минприроды России от 09 ноября 2020 года № 912, Порядок проведения лесопатологических обследований, утвержденный приказом Минприроды России от 09 ноября 2020 года № 910 и «Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов на землях лесного фонда Российской Федерации».

Для уточнения площади насаждений с нарушенной и утраченной устойчивостью, а также уточнения площади погибших насаждений, причин повреждения и основных видов вредителей и болезней проанализированы 17 обзоров, подготовленных отделом защиты леса и государственного лесопатологического мониторинга, информационно-аналитическим отделом филиала ФБУ «Российский центр защиты леса» на 1 января исслеуемого года (2022).

*Результаты исследования.* Древесная растительность, формирующая леса, в продолжение всего периода своего существования подвергается воздействию разнообразных факторов окружающей среды.

Каждая древесная порода служит источником питания или местом развития для тех или иных видов насекомых и субстратом для развития определенных видов грибов.

Площадь очагов и основные виды болезней по субъектам ЦФО отражены в табл. 1.

Таблица 1

**Площади очагов и основные виды болезней леса на территории ЦФО за 2022 г.**

**Areas of outbreaks and main types of forest diseases in the Central Federal District for 2022**

№ п/п	Субъект	Болезни			Итого	
		вид	га	%	га	%
1	Белгородская обл.	Опенок осенний	10742,4	75	14268,7	10,6
		Корневая губка	2947,15	21		
		Трутовик ложный дубовый	218	1		
		иные	361,15	3		
2	Брянская обл.	Корневая губка	2275,7	99,9	2277,1	1,7
		Трутовик ложный осиновый	1,4	0,1		
3	Владимирская обл.	Корневая губка	793	97,9	810	0,6
		Рак смоляной	17	2,1		

Продолжение табл. 1

№ п/п	Субъект	Болезни			Итого	
		вид	га	%	га	%
4	Воронежская обл.	Опенок осенний	11655,8	39,5	29490,3	22,0
		Корневая губка	11184,3	37,9		
		Трутовик ложный осиновый	1426,3	4,8		
		Стволовые гнили	1111,6	3,8		
		иные	4112,3	13,9		
5	Ивановская обл.	Корневая губка	28,3	87,6	32,3	0,0
		Трутовик ложный	4	12,4		
6	Калужская обл.	Корневая губка	175,1	45,2	387,3	0,3
		Трутовик ложный осиновый	117	30,2		
		Бактериальные заболевания березы	83	21,4		
		Трутовик настоящий	10,8	2,8		
		Трутовик ложный	1,4	0,4		
7	Костромская обл.	0	0	0	0,0	
8	Курская обл.	Опенок осенний	4222,6	58,0	7284,1	5,4
		Корневая губка	2627,4	36,1		
		Ложный дубовый трутовик	169	2,3		
		Трутовик настоящий	168,9	2,3		
		иные	96,2	1,3		
9	Липецкая обл.	Корневая губка	3421,8	40,7	8406,3	6,3
		Рак дуба поперечный	1308,4	15,6		
		Трутовик ложный дубовый	1196,6	14,2		
		Опенок осенний	950,2	11,3		
		Трутовик ложный осиновый	505,6	6,0		
		иные	1023,7	12,2		
10	Московская обл.	Трутовик ложный осиновый	6433	39,7	16210,85	12,1
		Корневая губка	5458,7	33,7		
		Сферопсисовый некроз (диплодиоз) хв. пород	1862,5	11,5		
		Опенок осенний	1481,9	9,1		
		Бактериальные заболевания березы	519,2	3,2		
		иные	455,55	2,8		

Окончание табл. 1

№ п/п	Субъект	Болезни			Итого	
		вид	га	%	га	%
11	Орловская обл.	Трутовик ложный осиновый	3845	58,9	6527,02	4,9
		Опенок осенний	987,8	15,1		
		Трутовик ложный дубовый	844,6	12,9		
		Корневая губка	591,37	9,1		
		иные	258,25	4,0		
12	Рязанская обл.	Корневая губка	3370,6	92,8	3633,2	2,7
		Смоляной рак	164,5	4,5		
		Трутовик ложный осиновый	58,8	1,6		
		иные	39,3	1,1		
13	Смоленская обл.	Трутовик ложный осиновый	2983,8	53,9	5536,2	4,1
		Смоляной рак	1186,86	21,4		
		Корневая губка	612,3	11,1		
		Еловая губка	272	4,9		
		иные	481,24	8,7		
14	Тамбовская обл.	Корневая губка	5068	65,2	7774,7	5,8
		Сосновая губка	1085,3	14,0		
		Смоляной рак	545,8	7,0		
		Сосудистый микоз дуба	290,2	3,7		
		иные	785,4	10,1		
15	Тверская обл.	Корневая губка	5444,8	79,3	6863,56	5,1
		Смоляной рак	1004,4	14,6		
		Трутовик ложный осиновый	259,79	3,8		
		иные	154,57	2,3		
16	Тульская обл.	Трутовик ложный осиновый	7165,8	29,2	24526,7	18,3
		Опенок осенний	5195,1	21,2		
		Бактериальные заболевания березы	2844,8	11,6		
		Трутовик ложный дубовый	1189,5	4,8		
		Корневая губка	1180	4,8		
		Тиристромоз	1133,2	4,6		
		иные	5818,3	23,7		
17	Ярославская обл.	0	0	0	0	

Общая площадь очагов болезней леса по субъектам ЦФО за 2022 год составила 134028,3 га. Наибольшая доля площади очагов приходится на Воронежскую (22,0%), Тульскую (18,3%) и Московскую (12,1%) области.

В Белгородской области общая площадь очагов – 14268,7 га, преобладают опенки осенний (75%) и корневая губка (21%). На территории Брянской (2275,7 га) и Владимирской (793 га) областей преобладает корневая губка. В Воронежской области преобладают очаги опенки осеннего (39,5%) и корневой губки (37,9%), зафиксированы также очаги трутовика ложного осинового (4,8%) и стволовых гнилей (3,8%). Корневая губка (87,6%) и трутовик ложный (12,4%) преобладают в Ивановской области. В Калужской области преобладают корневая губка (45,2%), трутовик ложный осинового (30,2%) и бактериальные заболевания березы (21,4%). На территории Костромской и Ярославской областей в 2022 году не зафиксировано очагов болезней. Опенки осенний (58,0%) и корневая губка (36,1%) занимают наибольшую площадь в Курской области. На территории Липецкой (40,7%), Рязанской (92,8%), Тамбовской (65,2%) и Тверской (79,3%) областей преобладает корневая губка. В Московской (39,7%), Орловской (58,9%), Смоленской (53,9%) и Тульской (29,2%) областях преобладает ложный осинового трутовик.

На рис. 1 отражена доля основных видов болезней от площади очагов на территории ЦФО.

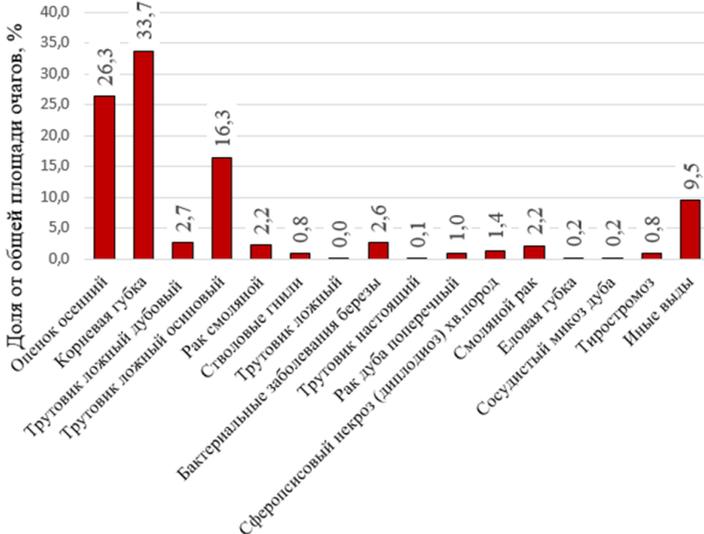


Рис. 1. Доля основных видов болезней от общей площади очагов ЦФО за 2022 год  
 Fig. 1. Share of main types of diseases from the total area of outbreaks in the Central Federal District for 2022

Проанализировав площади очагов болезней по субъектам ЦФО, можно сделать вывод, что основными болезнями насаждений являются: корневая губка (33,7%), опенок осенний (26,3%), ложный осиновый трутовик (16,3%), ложный дубовый трутовик (2,7%) и бактериальные заболевания березы (2,8%).

В течение ближайших лет есть все основания ожидать возрастания роли корневой губки.

В качестве борьбы с корневой губкой на территории всех субъектов ЦФО мы рекомендуем использовать санитарно-оздоровительные мероприятия. В качестве профилактических мероприятий рекомендуется создание смешанных, высокобонитетных и устойчивых насаждений.

Для борьбы с опенком осенним следует проводить санитарные рубки, корчевание и удаление пней. После рубок необходимо проводить лесовосстановление только смешанными культурами. При борьбе с ложным осиновым трутовиком используют санитарные рубки, смену малоценных осинников на более ценные древостои из других пород. Это достигается постепенной сменой насаждений на более ценные породы с помощью рубок ухода и реконструкции. В качестве мер борьбы с ложным дубовым трутовиком нужно соблюдать правильную агротехнику выращивания насаждения, также необходимо защищать кору от механических повреждений.

Во всех областях ЦФО необходимо увеличить площади мониторинга, разработать региональные наставления по изучению динамики изменения состояния лесов и снижению площади поврежденных насаждений.

*Выводы.* Объем ослабления и гибели насаждений от болезней леса говорит о несовершенстве существующей системы лесозащиты, а именно:

1. Отсутствует научно обоснованная система проведения СОМ, учитывающая биологию развития основных болезней;
2. Не проводится детального надзора за многими хозяйственно значимыми болезнями леса;
3. Отсутствует законодательная база применения современных, научно обоснованных способов снижения вероятности распространения очагов болезней в насаждениях, что делает невозможным совершенствование управления в сфере защиты леса;
4. Отсутствуют возможность и законодательная база для принятия управленческих решений по приведению лесов в удовлетворительное санитарное состояние;
5. Отсутствует эффективная система прогноза в сфере защиты леса;
6. Отсутствует законодательная база учета эффективности проведения СОМ.

Как общий итог, невозможно проведение профилактических мероприятий и предотвращение возникновения и развития очагов болезней на больших площадях, а только лишь рубка погибших насаждений, потерявших свои технические качества, что приводит к колоссальным убыткам в лесном секторе и дальнейшему распространению очагов болезней в насаждениях ЦФО.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

*Барталев С.А.* Крупномасштабные изменения лесов России в XXI веке по данным спутниковых наблюдений (ИКИ РАН, Москва, Россия) // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М., 2020. С. 416.

*Володькина Г.Н.* Анализ фитосанитарного состояния лесов Пензенской области // Состояние и перспективы развития лесного хозяйства: материалы Национальной научно-практической конференции. Омск, 2017. С. 122–127.

*Головина А.Н., Иванов В.А.* Санитарное состояние в лесах Российской Федерации и назначение санитарно-оздоровительных мероприятий // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2019. С. 53–55.

Обзоры санитарного и лесопатологического состояния лесов Белгородской, Брянской, Владимирской, Воронежской, Ивановской, Калужской, Костромской, Курской, Липецкой, Московской, Орловской, Рязанской, Смоленской, Тамбовской, Тверской, Тульской и Ярославской области. 2018–2022 гг.

*Оралова А.Т., Цой Н.К., Цешковская Е.А., Обухов Ю.Д.* Мониторинг санитарного состояния лесов Карагандинской области // Научный альманах. 2016. № 10-2 (24). С. 282–287.

### References

*Bartalev S.A.* Large-scale changes in Russian forests in the 21st century according to satellite observations (IKI RAS, Moscow, Russia). *Proceedings of the 18th All-Russian open conference «Modern problems of remote sensing of the Earth from space»*. Moscow, 2020, p. 416. (In Russ.)

*Golovina A.N., Ivanov V.A.* Sanitary condition in the forests of the Russian Federation and the purpose of sanitary and health measures. *Forest and chemical complexes – problems and solutions: collection of materials based on the results of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk, 2019, pp. 53–55. (In Russ.)

*Oralova A.T., Tsoi N.K., Tsheshkovskaya E.A., Obukhov Yu.D.* Monitoring the sanitary condition of forests in the Karaganda region. *Scientific almanac*, 2016, no. 10-2 (24), pp. 282–287. (In Russ.)

Reviews of the sanitary and forest pathological state of forests in Belgorod, Bryansk, Vladimir, Voronezh, Ivanovo, Kaluga, Kostroma, Kursk, Lipetsk, Moscow, Oryol, Ryazan, Smolensk, Tambov, Tver, Tula and Yaroslavl regions. 2018–2022. (In Russ.)

*Volodkina G.N.* Analysis of the phytosanitary state of forests in the Penza region. *State and prospects for the development of forestry: Materials of the National Scientific and Practical Conference.* Omsk, 2017, pp. 122–127. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 26.03.2024*

---

**Балашкевич Ю.А., Балухта Л.П.** К вопросу распространения основных видов болезней в лесах Центрального федерального округа // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2025. Вып. 253. С. 168–177. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.168-177

Существует острый дефицит актуальной и достоверной информации о состоянии и динамике лесов страны. Лесные насаждения активно подвержены комплексу неблагоприятных факторов, под воздействием которых они теряют устойчивость. Защита лесов от вредителей и болезней леса обеспечивается систематическим мониторингом его состояния, своевременным выявлением очагов вредителей и болезней леса, их локализацией и ликвидацией. Анализ санитарного состояния насаждений на территории ЦФО позволит выявить основные причины ослабления и гибели. Общая площадь очагов болезней леса по субъектам ЦФО за 2022 год составила 134028,3 га. Наибольшая доля площади очагов приходится на Воронежскую (22,0%), Тульскую (18,3%) и Московскую (12,1%) области. Основными болезнями насаждений являются: корневая губка (33,7%), опенок осенний (26,3%), ложный осиновый трутовик (16,3%), ложный дубовый трутовик (2,7%) и бактериальные заболевания березы (2,8%). Объем ослабления и гибели насаждений от болезней леса говорит о несовершенстве существующей системы лесозащиты, об отсутствии научно обоснованной системы проведения СОМ, невозможности проведения профилактических мероприятий и предотвращения возникновения и развития очагов болезней на больших площадях.

**Ключевые слова:** Центральный федеральный округ, болезни, лесопатологический мониторинг, санитарное состояние.

**Balashkevich Yu.A., Balukhta L.P.** On the issue of the distribution of the main types of diseases in the forests of the Central federal district. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 168–177 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.168-177

There is an acute shortage of relevant and reliable information about the state and dynamics of the country's forests. Forest plantations are actively exposed to a complex of unfavorable factors, under the influence of which they lose stability. Protection of forests from pests and forest diseases is ensured by systematic monitoring of its

condition, timely identification of outbreaks of forest pests and diseases, their localization and elimination. An analysis of the sanitary state of plantings in the Central Federal District will reveal the main causes of weakening and death. The total area of forest disease foci in the constituent entities of the Central Federal District for 2022 was 134028.3 hectares. The largest share of the outbreak area falls on the Voronezh (22.0%), Tula (18.3%) and Moscow (12.1%) regions. The main plant diseases are: root sponge (33.7%), autumn honey fungus (26.3%), false aspen polypore (16.3%), false oak polypore (2.7%) and bacterial diseases of birch (2.8%). The volume of weakening and death of plantations from forest diseases indicates the imperfection of the existing forest protection system, the lack of a scientifically based system for carrying out forest management, the impossibility of carrying out preventive measures and preventing the emergence and development of disease foci over large areas.

**Ключевые слова:** Central federal district, diseases, forest pathological monitoring, sanitary condition.

---

**БАЛАШКЕВИЧ Юрий Александрович** – доцент кафедры лесного дела и технологии деревообработки Брянского государственного инженерно-технологического университета, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 4435-4588. ORCID: 0009-0000-7604-9597.

241037, пр. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия. E-mail: 13\_kordon@list.ru

**BALASHKEVICH Yuri A.** – PhD (Agricultural), Associate Professor of the Department of Forestry and Woodworking Technology of the Bryansk State University of Engineering and Technology. SPIN-code: 4435-4588. ORCID: 0009-0000-7604-9597.

241037. Stanke Dimitrova av. 3. Bryansk. Russia. E-mail: 13\_kordon@list.ru

**БАЛУХТА Леонид Петрович** – доцент кафедры лесного дела и технологии деревообработки Брянского государственного инженерно-технологического университета, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 4549-6500. ORCID: 0000-0003-4003-6705. ResearcherID: ABE-1507-2020.

241037, пр. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия. E-mail: leonbalukhta@gmail.com

**BALUKHTA Leonid P.** – PhD (Agricultural), Associate Professor of the Department of Forestry and Woodworking Technology of the Bryansk State University of Engineering and Technology. SPIN-code: 4549-6500. ORCID: 0000-0003-4003-6705. ResearcherID: ABE-1507-2020.

241037. Stanke Dimitrova av. 3. Bryansk. Russia. E-mail: leonbalukhta@gmail.com

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК

---

УДК 630\*31

А.П. Соколов, В.А. Шаин, Д.И. Тукусер

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕВОЗКАХ ДРЕВЕСИНЫ

*Введение.* Эффективность организации транспортных потоков на перевозках древесины является одним из важнейших факторов, принимаемых во внимание при решении задач планирования освоения лесных участков, пространственного размещения лесных складов и деревоперерабатывающих производств. Транспортная составляющая в производственных затратах лесозаготовительных компаний может достигать 50–60% [Ivannikov et al., 2020; Audy et al., 2022]. При этом адекватное прогнозирование транспортных издержек в лесной отрасли в достаточной степени затруднено. Это связано с необходимостью учета большого числа влияющих факторов, которые чаще всего не зависят друг от друга, что приводит к реализации очень многих их сочетаний и комбинаций. К таким факторам следует отнести пространственное распределение лесных ресурсов, плотность используемой дорожной сети, фактическое расположение и характеристики отдельных участков дорог, средние скорости движения по разным участкам, загруженность разных участков дорог трафиком, распределение загрузки трафиком в течение суток, используемые транспортные средства и их характеристики (грузоподъемность, скорость, расход топлива, надежность и др.), действующие нормы труда и отдыха водителей автомобилей, время работы складов отправки и назначения. Ключевое значение здесь получает точность оценки эксплуатационной скорости, реализующейся на конкретном маршруте, которая существенным образом зависит от характеристик используемых участков дорог, интенсивности движения по ним, а также от общего времени движения, т. к. чем больше время движения, тем больше необходимо сделать остановок для отдыха. Принимая во внимание большой диапазон возможных расстояний перевозки, кото-

рый в отдельных случаях может составлять 500 км и более, реальные значения эксплуатационной скорости также могут изменяться в очень широких пределах.

Одним из методов решения сложных задач по оценке производственной эффективности и планированию организации производства, в том числе по организации и планированию транспортных потоков, является метод имитационного моделирования. Этот метод хорошо зарекомендовал себя в вопросах анализа и синтеза цепей поставок [Ivanov, 2018], а также давно и широко используется для решения прикладных задач в области лесозаготовительного производства [Герасимов, Перский, 2004; Соколов, 2023].

На сегодняшний день разработаны разнообразные средства и программные среды для осуществления имитационного моделирования, в которых реализуются методы системной динамики, агентного и дискретно-событийного моделирования. Одним из мощных и быстро развивающихся решений на сегодняшний день является программная среда имитационного моделирования AnyLogic. Данная статья посвящена описанию разработанной авторами имитационной модели поставок древесины.

*Материалы и методика исследования.* Разработанная авторами модель использует сочетание двух подходов – агентного моделирования и дискретно-событийного моделирования. Соединение этих двух методов совместно с использованием технологии OpenMap позволило весьма эффективно решить поставленную задачу. Объектами моделирования являются сеть автомобильных дорог и транспортные потоки Республики Карелия и соседствующих с ней регионов Российской Федерации – Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей. Представленные регионы традиционно характеризуются высоким уровнем развития лесного комплекса, поэтому решение описываемой задачи для этих территорий является весьма актуальным.

В качестве основного критерия эффективности транспортных потоков было решено использовать удельные транспортные затраты [Легкий, 2022]:

$$C_T = \frac{\frac{C_{var} \cdot l}{\beta} + C_{fix} \cdot \left( \frac{l}{V} + t_l \right)}{q}, \quad (1)$$

где  $C_T$  – удельные транспортные затраты, руб/м<sup>3</sup>;  $C_{var}$  – переменные затраты, руб/км;  $l$  – расстояние ездки, км;  $\beta$  – коэффициент использования пробега;  $C_{fix}$  – постоянные затраты, руб/ч;  $V$  – эксплуатационная скорость с учетом перерывов на отдых, км/ч;  $t_l$  – суммарное время погрузки и разгрузки, ч;  $q$  – грузоподъемность транспортного средства, м<sup>3</sup>.

Таким образом, при неизменных параметрах парка используемых транспортных средств и уровне операционной эффективности перевозчиков удельные транспортные затраты на каждом конкретном маршруте будут зависеть только от эксплуатационной скорости  $V$ :

$$C_T = f(V). \quad (2)$$

Эксплуатационная скорость на маршруте определяется отношением расстояния ездки к фактическому времени, прошедшему с момента начала движения от пункта погрузки до прибытия на пункт разгрузки:

$$V = \frac{l}{t_r}, \quad (3)$$

где  $t_r$  – время с момента начала движения от пункта погрузки до прибытия на пункт разгрузки (время ездки), ч:

$$t_r = \sum_{i=1}^M t_i, \quad (4)$$

где  $t_i$  – время движения автомобиля по участку маршрута  $i$ , ч;  $M$  – число участков маршрута с разными характеристиками.

Время движения по отдельному участку в свою очередь можно найти как:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} + t_i^{out}, \quad (5)$$

где  $l_i$  – длина участка  $i$ , км;  $V_i$  – средняя скорость движения по участку  $i$ , км/ч;  $t_i^{out}$  – время остановок на отдых, пришедшихся на участок  $i$ , ч.

В соответствии с работой [Шведовский, Клебанюк, 2021], скорость движения по участку дороги может быть определена по формуле:

$$V_i = V_i^0 - \alpha_i \cdot N_i, \quad (6)$$

где  $V_i^0$  – скорость движения по участку  $i$  одиночного автомобиля при отсутствии помех, км/ч;  $N_i$  – суммарная интенсивность движения в обоих направлениях по участку  $i$ , ч<sup>-1</sup>;  $\alpha_i$  – коэффициент снижения скорости, который зависит от состава транспортного потока.

Суммарная интенсивность движения изменяется в течение суток, являясь по сути функцией времени. В разрабатываемой модели для учета изменения интенсивности движения, сутки были разбиты на двухчасовые интервалы. Суммарная интенсивность движения в обоих направлениях внутри двухчасового интервала принимается постоянной и вычисляется по формуле:

$$N_{ij} = \gamma_{ij} \cdot N_i^b, \quad (7)$$

где  $N_{ij}$  – интенсивность движения по участку  $i$  внутри периода  $j$ , ч<sup>-1</sup>;  $\gamma_{ij}$  – доля среднесуточного числа транспортных средств, следующих через уча-

сток  $i$  в течение периода  $j$ ;  $N_i^b$  – среднесуточная интенсивность движения в одном направлении для участка  $i$ ,  $\text{сут}^{-1}$ .

Таким образом, скорость движения автомобиля по участку дороги  $i$  внутри временного периода  $j$  будет определяться формулой:

$$V_{ij} = V_i^0 - \alpha_i \cdot \gamma_{ij} \cdot N_i^b. \quad (8)$$

Тогда время движения по участку  $i$  будет равно:

$$t_i = \sum_{j=1}^{12} \frac{l_{ij}}{V_{ij}} + t_i^{out}, \quad (9)$$

где  $l_{ij}$  – расстояние, пройденное автомобилем по участку  $i$  внутри временного периода  $j$ , км.

Расстояния  $l_{ij}$  будут зависеть от конкретного момента времени въезда автомобиля на участок  $i$ .

Значения коэффициентов  $\gamma$ , определяющих суточные колебания интенсивности дорожного движения, были определены для двухчасовых интервалов в соответствии с работой [Маркуц, 2018]. Они приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

**Значения коэффициента  $\gamma$**

**Values of the  $\gamma$  indexes**

Период, ч	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–19	20–21	22–23
За городом	0,07	0,034	0,037	0,055	0,072	0,082	0,078	0,064	0,094	0,141	0,154	0,119
В городе	0,066	0,026	0,024	0,048	0,08	0,103	0,095	0,064	0,09	0,138	0,151	0,116

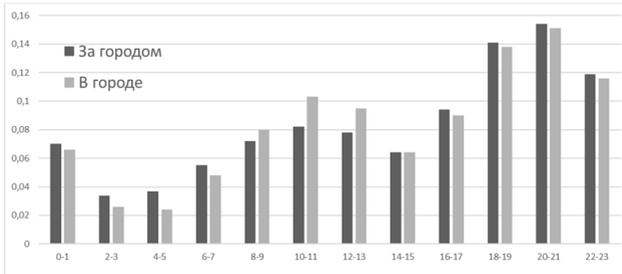


Рис. 1. Значения коэффициента  $\gamma$

Fig. 1. Values of the  $\gamma$  indexes

Источником данных о среднесуточной интенсивности движения на различных участках дорожной сети стал сайт государственной системы контроля за формированием и использованием средств дорожных фондов (СКДФ), оператором которой является Федеральное дорожное агентство Росавтодор. Данная система предоставляет любому желающему большой объем информации обо всех федеральных, региональных и местных дорогах Российской Федерации, в том числе и данные мониторинга интенсивности движения. В состав сервиса СКДФ входит интерактивная карта, с помощью которой очень удобно получать всю необходимую информацию о любом участке дорожной сети (рис. 2).

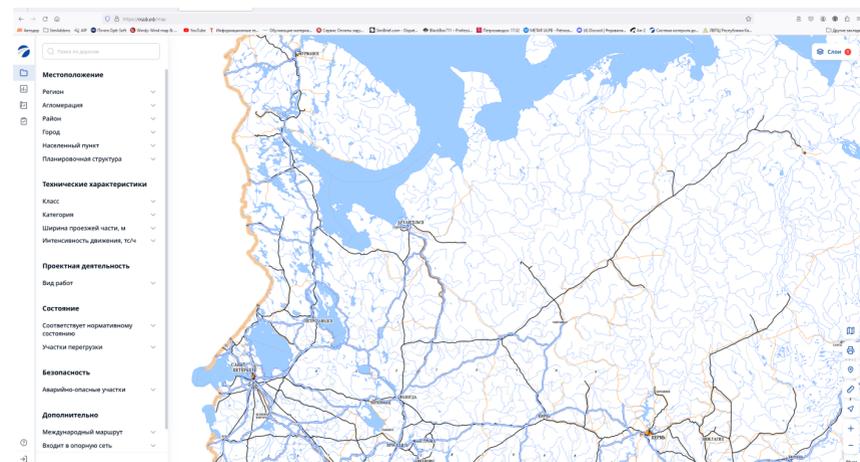


Рис. 2. Интерактивная карта СКДФ  
Fig. 2. SKDF interactive map

В итоге для целей моделирования была собрана информация о 210 участках, принадлежащих 21 дороге различного значения. Среди них 5 дорог федерального значения и 16 региональных трасс. Интенсивность на разных участках варьируется в широких пределах от 49727 автомобилей в сутки на наиболее нагруженных участках вблизи г. Санкт-Петербурга до 35 автомобилей в сутки для дороги РЗ 86К-262 «Подъезд к д. Нижняя Салма».

Для оценки эффективности функционирования транспортных потоков в предлагаемой имитационной модели используется так называемый метод контрольного транспортного средства, который заключается в прямом за-

мере времени движения транспортного средства от места погрузки до места разгрузки. С учетом всего вышеизложенного, измеренное время будет зависеть от используемого маршрута, а также от момента начала движения, т. к. интенсивность движения изменяется в течение суток. Для получения полной картины для всего суточного цикла предлагается отправлять контрольные транспортные средства по маршруту с какой-либо постоянной периодичностью, например, каждые 10–15 мин, и фиксировать полученные результаты для дальнейшего анализа.

*Результаты исследования.* Реализация метода контрольного транспортного средства выполнена с использованием агентного моделирования в среде AnyLogic. При этом используется открытая популяция автомобилей-сортиментовозов, в которую новый экземпляр добавляется в момент начала движения очередного автомобиля и удаляется после достижения автомобилем точки назначения.

Имитация движения автомобилей происходит в среде ГИС, которая генерируется средствами AnyLogic с использованием технологии OpenMap. При этом среда ГИС содержит все необходимые для данной модели трассы дорог, что избавляет от выполнения трудоемких работ по созданию графа дорожной сети. Кроме того, среда содержит несколько встроенных маршрутизаторов, которые автоматически определяют оптимальные маршруты между заданными точками на карте.

Для изменения скорости движения автомобилей при переходе с одного участка дороги на другой, а также при изменении интенсивности движения, которое происходит в модели каждые два часа, используются инструменты дискретно-событийного моделирования. Как отмечалось выше, вся задействованная сеть дорог разделена на 210 участков, которые отличаются либо интенсивностью движения, либо базовой скоростью (скоростью при отсутствии помех). Для обозначения границ участков в используемую среду ГИС в местах соединения участков дорог были добавлены точечные объекты (ГИС-точки), в свойства которых записывались значения интенсивности и базовой скорости. На рис. 3 показан фрагмент ГИС-пространства с нанесенными пограничными точками.

Таким образом, прежде всего при выполнении модели необходимо обеспечить отправку автомобиля от точки к точке вдоль маршрута, изменяя при этом скорость при прохождении через очередную точку. Это было осуществлено с помощью блоков Библиотеки моделирования процессов AnyLogic, таких как `source`, `moveTo` и `sink` (рис. 4).

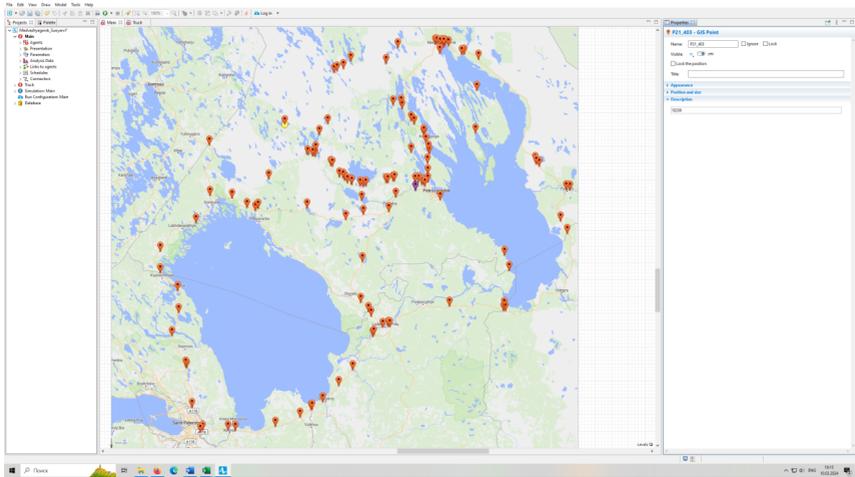


Рис. 3. Среда ГИС и пограничные точки  
 Fig. 3. GIS environment and junction points

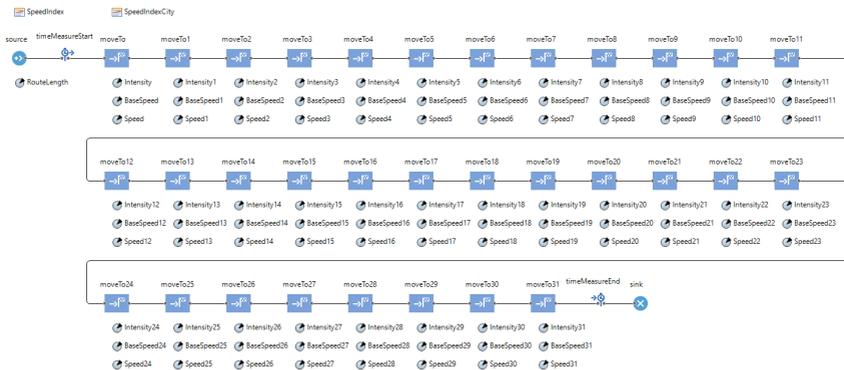


Рис. 4. Граф дискретно-событийной модели  
 Fig. 4. Discrete event model graph

Блок source с заданной периодичностью добавляет в популяцию агентов новый автомобиль-сортиментовоз. Блок sink удаляет автомобиль из популяции после достижения им конечной точки маршрута. Блоки moveTo отправляют автомобили к следующей точке на маршруте, при этом изменяя их скорость в соответствии с формулой (8). Для подсчета скорости каждому блоку moveTo ставятся в соответствие три параметра: Intensity –

базовая интенсивность для следующего участка маршрута, BaseSpeed – базовая скорость для следующего участка маршрута и Speed – расчетная скорость, определяемая по формуле (8). Также каждый блок moveTo увеличивает на единицу значение параметра stage агента. В дальнейшем по значению этого параметра определяется, на каком участке маршрута в данный момент находится каждый моделируемый автомобиль-сортиментовоз.

Учет суточных колебаний интенсивности дорожного движения реализован с помощью блоков Библиотеки моделирования процессов «Schedule», которые в том числе позволяют изменять значения заданных переменных в определенные моменты модельного времени. Блок «SpeedIndex» каждые два часа изменяет значение коэффициента  $\gamma$  для загородных дорог, блок «SpeedIndexCity» делает это применительно к городским участкам. Блок «Schedule» (рис. 5) содержит таблицу значений коэффициентов  $\gamma$  (табл. 1), которые сменяют друг друга в заданные моменты времени.

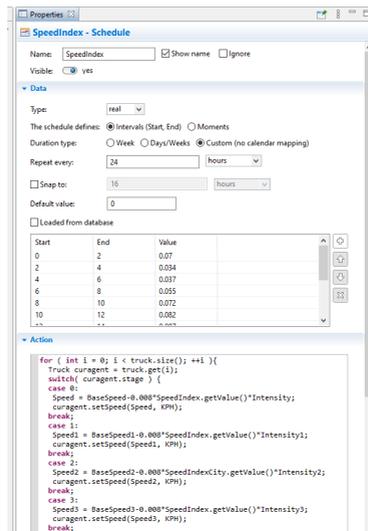


Рис. 5. Блок «Schedule»  
Fig. 5. The block “Schedule”

Кроме того, в секцию «Action» этого блока добавлен программный код на языке Java, с помощью которого при достижении следующего двухчасового интервала изменяется скорость всех автомобилей с учетом характери-

стик того участка маршрута, на котором они в данный момент находятся (переменная stage). Без этого модель бы работала некорректно, задавая новую скорость только для автомобилей, начинающих движение по участку. Автомобили, уже находящиеся на участке, продолжали бы движение со старой скоростью, что в условиях, когда некоторые участки могут иметь достаточно большую длину, приводило бы к недопустимой величине ошибки.

Блоки timeMeasureStart и timeMeasureEnd служат для фиксации времени прохождения маршрута каждым автомобилем.

Кроме прочего, AnyLogic предоставляет мощные инструменты визуализации и анализа результатов. На рис. 6 показано окно анимации модели, в котором можно в режиме модельного времени наблюдать за движением агентов-автомобилей по заданному маршруту, за изменением их скорости и т. д. Также в окне в режиме on-line отрисовывается ряд графиков, показывающих изменение времени прохождения маршрута каждым следующим автомобилем, их среднюю скорость, а также статистические параметры, такие как распределение времени в пути, среднее время и средняя скорость для всех уже прибывших автомобилей. Кроме того, все численные параметры сохраняются во встроенной базе данных и могут быть впоследствии подвергнуты всестороннему анализу, в том числе и с использованием сторонних средств.

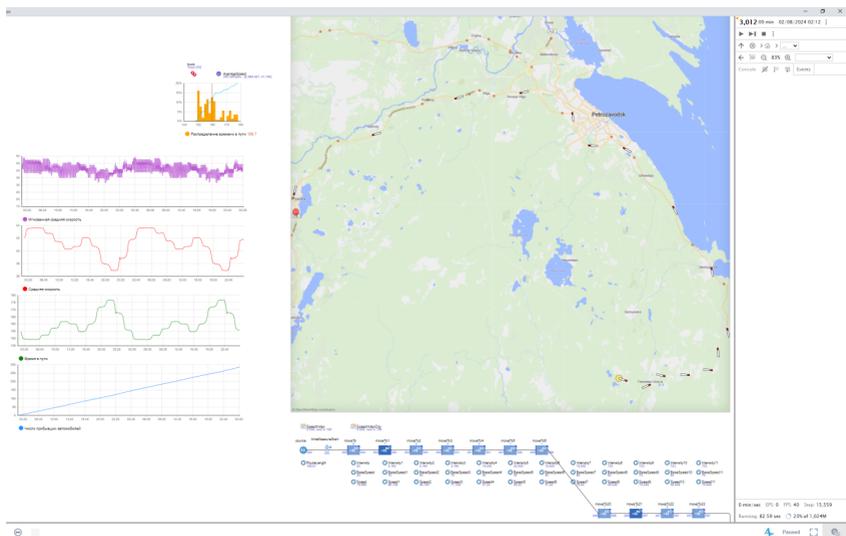


Рис. 6. Анимация выполнения модели  
Fig. 6. Model animation window

*Заключение.* Разработанная имитационная модель поставок древесины, благодаря учету большого числа влияющих факторов, позволяет получать достаточно точные оценки эксплуатационной скорости автомобилей-сортиментовозов, реализующейся на конкретном маршруте на различных временных отрезках. Это в свою очередь позволяет оценивать экономическую эффективность и производить сравнение различных вариантов организации транспортных потоков, осуществлять поддержку принятия решений в вопросах планирования освоения лесных участков, размещения лесных складов, деревоперерабатывающих производств и элементов транспортной инфраструктуры.

Используемый для реализации пакет программ AnyLogic благодаря наглядным интерактивным инструментам управления моделями и мощным средствам визуализации, включая технологию OpenMap, делает достаточно простым взаимодействие пользователя с моделью и существенно облегчает интерпретацию получаемых результатов.

*Сведения о финансировании* исследования. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023-128).

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Герасимов Ю.Ю., Перский С.Н. Имитационная модель сплошных рубок на основе ГИС-технологий // Моделирование, оптимизация и интенсификация производственных процессов и систем: матер. Междунар. науч.–практич. конф. Вологда, 2004. С. 286–289.

Легкий С.А. Методический подход к расчету тарифов на грузовые автомобильные перевозки // Вести Автомобильно-дорожного института. 2022. №1(40). С. 64–75.

Маркуц В.М. Транспортные потоки автомобильных дорог. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 148 с.

Соколов А.П. Имитационное моделирование процессов заготовки древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 245. С. 244–260.

Шведовский П.В., Клебанюк Д.Н. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 616 с.

Audy J., D'Amours S., Rönnqvist M. Planning methods and decision support systems in vehicle routing problems for timber transportation: a review // International Journal of Forest Engineering. 2022. Vol. 34, iss. 5. P. 1–25.

*Ivannikov V., Bukhtoyarov V., Kvitko K., Shvyrev A.* Improvement of the methodology for the design of technological transport of timber industry enterprises // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 1001. Art. no. 012031.

*Ivanov D.* Structural Dynamics and Resilience in Supply Chain Risk Management. New York: Springer, 2018. 320 p.

### References

*Audy J., D'Amours S., Rönnqvist M.* Planning methods and decision support systems in vehicle routing problems for timber transportation: a review. *International Journal of Forest Engineering*, 2022, vol. 34, iss. 5, pp. 1–25.

*Gerasimov Yu.Yu., Persky S.N.* Simulation model of clearcuts based on GIS technologies. *Modeling, optimization and intensification of production processes and systems: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vologda, 2004*, pp. 286–289. (In Russ.)

*Ivannikov V., Bukhtoyarov V., Kvitko K., Shvyrev A.* Improvement of the methodology for the design of technological transport of timber industry enterprises. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 1001, art. no. 012031.

*Ivanov D.* Structural Dynamics and Resilience in Supply Chain Risk Management. New York: Springer, 2018. 320 p.

*Legkii S.A.* Methodical Approach to the Tariff Calculation for Trucking. *Bulletin of the Automobile and Highway Institute*, 2022, no. 1(40), pp. 64–75. (In Russ.)

*Markuts V.M.* Road traffic flows. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2018. 148 p. (In Russ.)

*Shvedovsky P.V., Klebanyuk D.N.* Surveys and design of highways. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2021. 616 p. (In Russ.)

*Sokolov A.P.* Simulation modeling of wood harvesting processes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2023, iss. 245, pp. 244–260. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 12.11.2024*

---

**Соколов А.П., Шаин В.А., Тукусер Д.И.** Имитационная модель для анализа транспортных потоков на перевозках древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 178–190. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.178-190

В статье описывается разработанная авторами имитационная модель, предназначенная для анализа транспортных потоков на перевозках древесины. Благодаря учету большого числа влияющих факторов предлагаемая модель позволяет получать достаточно точные оценки эксплуатационной скорости автомобилей-сортиментовозов, реализующейся на конкретном маршруте на различных временных отрезках. Это в свою очередь позволяет оценивать

экономическую эффективность и производить сравнение различных вариантов организации транспортных потоков, осуществлять поддержку принятия решений в вопросах планирования освоения лесных участков, размещения лесных складов, деревоперерабатывающих производств и элементов транспортной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** транспорт леса, поставки древесины, имитационное моделирование, сети дорог, интенсивность дорожного движения, транспортные затраты, автомобили-сортиментовозы.

**Sokolov A.P., Shain V.A., Tukuser D.I.** Simulation model for wood procurement analysis. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoi Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 178–190 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.178-190

This paper describes a simulation model of the wood supply in wood procurement. The developed simulation model of wood supply due to taking into account a large number of influencing factors allows us to obtain the correct estimates of the operational speed of timber trucks on a specific route at different time intervals. This makes it possible to evaluate the economic efficiency and compare different variants of transport flows to support decision-making regarding the planning of forest operations and allocation of timber warehouses, wood processing plants and transport infrastructure units.

**Keywords:** supply chains, forest transport, wood procurement, simulation modeling, road network, traffic intensity, transport costs, timber truck.

---

**СОКОЛОВ Антон Павлович** – заведующий кафедрой транспортных и технологических машин и оборудования Петрозаводского государственного университета, доктор технических наук, профессор. SPIN-код: 9742-7110. ORCID: 0000-0002-0798-4634.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: a\_sokolov@psu.karelia.ru

**SOKOLOV Anton P.** – DSc (Technical), Head of transport and production machines and equipment department of Petrozavodsk state university, Professor. SPIN-code: 9742-7110. ORCID: 0000-0002-0798-4634.

185910. Lenin av. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: a\_sokolov@psu.karelia.ru

**ШАИН Всеволод Алексеевич** – доцент кафедры транспортных и технологических машин и оборудования Петрозаводского государственного университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 3910-9180. ORCID: 0000-0002-4935-1595.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: shainva@yandex.ru

**SHAIN Vsevolod A.** – PhD (Technical), Associated professor of transport and production machines and equipment department of Petrozavodsk state university. SPIN-code: 3910-9180. ORCID: 0000-0002-4935-1595.

185910. Lenin Ave. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: shainva@yandex.ru

**ТУКУСЕР Данила Игоревич** – студент Петрозаводского государственного университета. SPIN-код: 3954-3672.

85910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: tukuserdanila@yandex.ru

**TUKUSER Danila I.** – student of Petrozavodsk state university. SPIN-code: 3954-3672.

185910. Lenin av. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: tukuserdanila@yandex.ru

**Д.М. Ласточкин, Ю.Н. Сидыганов, В.И. Кретинин, Д.В. Костромин**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ  
ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА  
С МЕХАНИЗМОМ ВИБРАЦИИ**

*Введение.* Проведение комплексных научных исследований является неотъемлемой частью создания машин и оборудования лесозаготовок и лесного хозяйства [Александров, 2000; Сидыганов и др., 2008; Ширнин, Ширнин, 2014; Александров, 2020]. Особенно важно, когда это связано с новыми направлениями разработки, которые еще не получили широкого распространения и имеют достаточно ограниченный объем теоретических и практических знаний. К одному из таких направлений можно отнести разработку захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации, предназначенного для удержания дерева в вертикальном положении за счет эффекта динамической стабилизации перевернутого маятника на осциллирующем подвесе [Ласточкин и др., 2023]. В рамках проведенных исследований по данной теме была разработана модель и проведен теоретический анализ процессов работы захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации [Ласточкин и др., 2024a, b]. Также авторами было выяснено, что при динамической стабилизации вертикального дерева элементы захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации испытывают значительные нагрузки, характер которых сильно зависит от режима эксплуатации и параметров удерживаемого дерева [Ласточкин и др., 2024a, b]. Для анализа характера возникающих нагрузок в элементах конструкции захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации необходимо провести экспериментальные исследования по динамической стабилизации вертикально удерживаемого дерева в условиях опытной эксплуатации.

*Целью* экспериментальных исследований является определение эксплуатационных показателей работы основных элементов захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации при динамической стабилизации вертикально удерживаемого дерева в условиях выполнения технологических операций рубок ухода.

*Материалы и методика исследования.* Для проведения экспериментальных исследований по динамической стабилизации вертикально удерживаемого дерева в условиях опытной эксплуатации

живаемого дерева, заготавливаемого при рубках ухода, был изготовлен вариант захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации (рис. 1), которое устанавливалось на переднюю навеску специального самоходного колесного шасси.



*Рис. 1. Экспериментальный образец захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации*

*Fig. 1. Experimental sample of a gripping and cutting device with a vibration mechanism*

В рамках экспериментальных исследований захватно-срезающее устройство выполняло основные технологические операции лесозаготовки, такие как срезание и захват дерева, отделение дерева от пня и удержание его во время динамической стабилизации в вертикальном положении при транспортировке (рис. 2). При выполнении технологических операций параметры заготавливаемых деревьев варьировались по диаметру у места среза. В качестве основной заготавливаемой породы деревьев была выбрана береза.

Из-за особенности процесса динамической стабилизации дерева в вертикальном положении элементы конструкции захватно-срезающего устройства испытывают значительные нагрузки, основные из которых приходятся на механизмы вибрации и зажима дерева. Для выявления характера таких нагрузок с помощью измерительных датчиков производилась регистрация изменения давления в магистралях гидромотора механизма вибрации и приводного гидроцилиндра рычага зажима.



Рис. 2. Проведение экспериментальных исследований  
Fig. 2. Conducting experimental research

Места установки и способ крепления датчиков (рис.1) выбирались на месте с учетом конструктивных особенностей и рекомендаций по их эксплуатации. Главными критериями при установке датчиков было сохранение полной функциональности всех элементов захватно-срезающего устройства. Для обработки сигналов, полученных с датчиков, применялся измерительный комплекс на основе модуля по преобразованию аналогового сигнала NI 9219 и программы LabView. В программе использовался инструмент DAQ Assistant, с помощью которого измеренные сигналы преобразовывались в цифровой вид и использовались в программе для вычисления значений физических величин.

*Результаты исследования.* В результате экспериментальных исследований были получены данные изменения эксплуатационных показателей работы основных элементов захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации при выполнении технологических операций рубок ухода. На рис. 3–4 представлены образцы экспериментальных данных изменения давления в магистралях механизмов зажима и вибрации захватно-

срезающего устройства при заготовке березы, диаметром у места среза 12 см, с последующим перемещением со скоростью 3,0 м/с. На графиках участок (0...3,5 с) соответствует процессу, при котором отсутствует давление в магистрали при наводке захватно-срезающего устройства на дерево (рычаг захвата предварительно открыт); участок (3,5...5 с) соответствует захвату дерева с одновременным его срезанием; участок (5,5...7 с) соответствует переводу захватно-срезающего устройства в транспортное положение (поднятие ЗСУ над землей на 50 см); участок (7...22 с) соответствует транспортировке дерева в вертикальном положении.

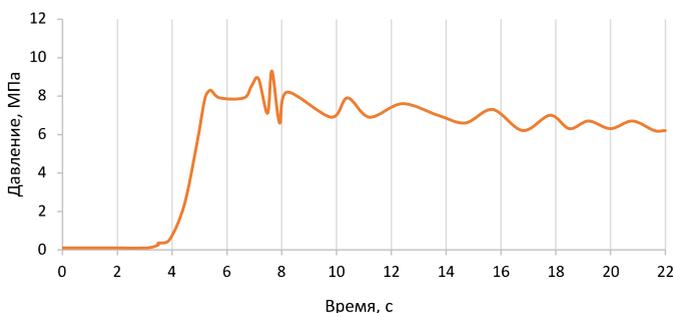


Рис. 3. Образец экспериментальных данных изменения давления в магистрали гидроцилиндра захвата дерева

Fig. 3. Sample experimental data change in pressure in the hydraulic cylinder line of the tree gripper

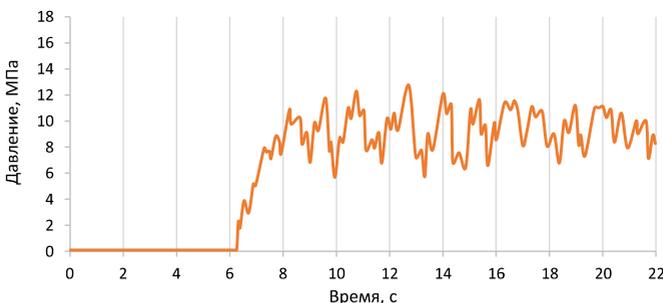


Рис. 4. Образец экспериментальных данных изменения давления в магистрали гидромотора механизма вибрации

Fig. 4. Sample of experimental data of pressure change / in the hydraulic motor line of the vibration mechanism

График на рис. 3 показывает изменение давления в магистрали гидроцилиндра захвата дерева на разных этапах технологического процесса заготовки дерева. Так, в процессе зажима дерева давление в магистрали гидроцилиндра зажима дерева возрастает до момента полного обхвата дерева рычагом. При окончании срезания давление в магистрали механизма зажима дерева немного снижается (5 с), после чего до включения механизма вибрации остается почти постоянным. После включения механизма вибрации происходит раскачивание дерева, которое приводит к дополнительным нагрузкам на рычаг зажима, и давление в магистрали гидроцилиндра зажима резко возрастает (7 с...8,5 с). После достижения гидромотором максимальных оборотов давление в магистрали зажима дерева сглаживается, и присутствуют только незначительные отклонения (отрезок 9...22 с). Также в целом прослеживается снижение давления и ослабление силы зажима за счет утечек рабочей жидкости в гидросистеме и за счет смятия поверхности дерева. Такое снижение давления в среднем составляло 0,07 МПа за 1 с. В связи с этим при перемещении дерева на большое расстояние приходилось периодически включать распределитель для поддержания давления в магистрали захвата, чтобы обеспечить надёжное удержание спиленного дерева.

График на рис. 4 показывает изменение давления в магистрали гидромотора механизма вибрации при выполнении технологического процесса заготовки дерева. Включение гидромотора (с 6...7 с) характеризуется всплеском изменения давления в магистрали до момента набора гидромотором максимальных оборотов вращения (1...2 с). В процессе работы механизма вибрации наблюдалось колебание давления в магистрали гидромотора, которое складывалось из самой работы механизма вибрации, колебаний дерева и работы гидронасоса. При удержании деревьев диаметром, близким к максимально расчетным (18 см), наблюдалось сильное раскачивание дерева и увеличение амплитуды и частоты колебаний давления в магистрали гидромотора механизма вибрации до 12,5...13,5 МПа, которое могло сопровождаться автоматическим отключением распределителя. При динамической стабилизации вертикально перемещаемых деревьев малого диаметра (10...16 см) наблюдалось отчетливое снижение амплитуды и частоты колебаний, что свидетельствует о стремлении системы к стабилизации и к сглаживанию динамических параметров.

*Заключение.* В результате экспериментальных исследований были получены данные изменения давления механизмов вибрации и зажима дерева захватно-срезающего устройства при срезании, фиксации и последующей динамической стабилизации дерева в вертикальном положении при

транспортировке. Полученные данные показали, что при начале работы механизма вибрации происходит всплеск амплитуды и частоты колебаний давления в магистралях механизма вибрации и зажима дерева, который связан с особенностями кинематики конструкции захватно-срезающего устройства и сильного раскачивания консольно закрепленного дерева. Также установлено, что при установившемся режиме работы механизма вибрации для деревьев от 10 до 16 см у места среза прослеживалась тенденция к снижению амплитуды и частоты колебаний давления, что свидетельствует о стремлении системы к стабилизации и к сглаживанию динамических параметров. Анализ экспериментальных данных по заготовке деревьев разных диаметров показал, что величина давлений в магистралях механизмов зажима и вибрации находится в допустимых пределах. В дальнейшем, усовершенствовав конструкцию захватно-срезающего устройства, можно добиться более эффективной динамической стабилизации дерева в вертикальном положении, повысить параметры заготавливаемых деревьев и скорость их выноса.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00421, <https://rscf.ru/project/23-29-00421/>.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Александров В.А.* Механизация лесосечных работ в России: монография. СПб.: ЛТА, 2000. 208 с.

*Александров В.А.* Нагруженность валочно-пакетирующих машин на лесозаготовках. СПб.: СПбГЛТУ, 2020. 295 с.

*Ласточкин Д.М., Медяков А.А., Остащенко А.П.* Патент 2023111991 РФ Захватно-срезающее устройство №2810547. Оpubл. 27.12.2023. Бюл. № 36.

*Ласточкин Д.М., Сидыганов Ю.Н., Кретинин В.И., Багаудинов И.Н.* Исследование движения элементов вибропривода захватно-срезающего устройства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024а. Вып. 248. С. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.220-229.

*Ласточкин Д.М., Сидыганов Ю.Н., Кретинин В.И., Медяков А.А.* Анализ частоты колебаний вертикально удерживаемого дерева на виброподвесе // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024b. №249. С. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.220-229.

*Сидыганов Ю.Н., Онучин Е.М., Ласточкин Д.М.* Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. 336 с.

*Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю.* Разработка параметров оборудования и технологии для экспериментальных условий лесозаготовок: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 232 с.

## References

*Aleksandrov V.A.* Mechanization of logging operations in Russia: monograph. St. Petersburg: LTA, 2000. 208 p. (In Russ.)

*Aleksandrov V.A.* Loading of feller-buncher machines in logging. St. Petersburg: LTA, 2020. 295 p. (In Russ.)

*Lastochkin D.M., Medyakov A.A., Ostashenkov A.P.* Patent 2023111991 RU Zakhvatno-srezayushcheye ustroystv [Grabbing and cutting device]. Publ. 27.12.2023; bul. no. 36. (In Russ.)

*Lastochkin D.M., Sidyganov Yu.N., Cretinin V.I., Bagautdinov I.N.* Study of the movement of vibration drive elements of a gripping-cutting device. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2024a, iss. 248, pp. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.220-229. (In Russ.)

*Lastochkin D.M., Sidyganov Yu.N., Cretinin V.I., Medyakov A.A.* Analysis of the vibration frequency of a vertically held tree on a vibration suspension. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2024, iss. 249b, pp. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.220-229. (In Russ.)

*Sidyganov Yu.N., Onuchin E.M., Lastochkin D.M.* Modular machines for thinning and reforestation: monograph. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2008. 336 p. (In Russ.)

*Shirnin Yu.A., Shirnin A.Yu.* Development of equipment parameters and technology for experimental logging conditions: monograph. Yoshkar-Ola: PGU, 2014. 232 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 19.04.2024*

---

**Ласточкин Д.М., Сидыганов Ю.Н., Кретинин В.И., Костромин Д.В.** Экспериментальные исследования работы захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 191–200. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.191-200

В статье представлены результаты экспериментальных исследований изменения давления механизмов вибрации и зажима дерева захватно-срезающего устройства на разных этапах технологического процесса рубок ухода. Исследования проводились на экспериментальном образце захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации. В рамках экспериментальных исследований захватно-срезающее устройство выполняло основные технологические операции лесозаготовки, такие как срезание и захват дерева, отделение дерева от пня и динамическая стабилизация в вертикальном положении при транспортировке. При выполнении технологических операций параметры заготавливаемых деревьев варьировались по диаметру у места среза. В качестве основной заготавливаемой породы деревьев была выбрана береза. Для выявления характера оказываемых нагрузок с помощью измерительных датчиков производилась регистрация изменения давления в магистралях приводного гидроцилиндра

рычага зажима и гидромотора механизма вибрации. Полученные данные показали, что при начале работы механизма вибрации происходит всплеск амплитуды и частоты колебаний давления в магистралях механизмов вибрации и зажима дерева, который связан с особенностями кинематики конструкции захватно-срезающего устройства и сильного раскачивания консольно закрепленного дерева. Также установлено, что при установившемся режиме работы механизма вибрации для деревьев от 10 до 16 см у места среза прослеживалась тенденция к снижению амплитуды и частоты колебаний давления, что свидетельствует о стремлении системы к стабилизации и к сглаживанию динамических параметров. Анализ экспериментальных данных по заготовке деревьев разных диаметров показал, что величина давлений в магистралях механизмов зажима и вибрации находится в допустимых пределах и при дальнейшем совершенствовании конструкции захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации существует возможность повышения эффективности динамической стабилизации дерева в вертикальном положении.

**Ключевые слова:** захватно-срезающее устройство, механизм вибрации, динамическая стабилизация, вертикальное дерево, лесозаготовка, экспериментальные исследования.

**Lastochkin D.M., Sidyganov Yu.N., Kretinin V.I., Kostromin D.V.** Experimental studies of the operation of a gripping and cutting device with a vibration mechanism. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 191–200 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.191-200

The article presents the results of experimental studies of changes in the pressure of the vibration and tree clamping mechanisms of the gripping and cutting device at different stages of the technological process of thinning. The studies were conducted on an experimental sample of the gripping and cutting device with a vibration mechanism. As part of the experimental studies, the gripping and cutting device performed the main technological operations of logging, such as cutting and gripping a tree, separating a tree from a stump and dynamic stabilization in a vertical position during transportation. When performing technological operations, the parameters of the harvested trees varied in diameter at the cut site. Birch was chosen as the main harvested tree species. To identify the nature of the loads exerted, pressure changes in the lines of the drive hydraulic cylinder of the clamp lever and the hydraulic motor of the vibration mechanism were recorded using measuring sensors. The data obtained showed that when the vibration mechanism starts working, there is a surge in the amplitude and frequency of pressure oscillations in the lines of the vibration mechanisms and tree clamping, which is associated with the kinematics features of the gripping and cutting device design and strong swinging of the cantilever-mounted tree. It was also established that in the steady-state mode of operation of the vibration mechanism for trees from 10 to 16 cm at the cutting site there was a tendency to reduce the amplitude

and frequency of pressure oscillations, which indicates to us the desire of the system to stabilize and smooth out dynamic parameters. Analysis of experimental data on harvesting trees of different diameters showed that the value of pressure in the main lines of the clamping and vibration mechanisms is within acceptable limits and with further improvement of the design of the gripping and cutting device with a vibration mechanism, there is a possibility of increasing the efficiency of dynamic stabilization of the tree in a vertical position.

**Key words:** gripping-cutting device, vibration mechanism, dynamic stabilization, vertical tree, forest harvesting, experimental studies.

---

**ЛАСТОЧКИН Денис Михайлович** – доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент. SPIN-код: 7597-7487. ORCID: 0000-0002-0442-384X.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: lastochkindm@volgatech.net

**LASTOCHKIN Denis M.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Machinery and Equipment Operation of the Volga State University of Technology. SPIN-code: 7597-7487. ORCID: 0000-0002-0442-384X.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: lastochkindm@volgatech.net

**СИДЫГАНОВ Юрий Николаевич** – профессор кафедры эксплуатации машин и оборудования Поволжского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор. SPIN-код: 5527-9829. ORCID: 0000-0003-3665-5431.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: SidyganovYN@volgatech.net

**SIDYGANOV Yuriy N.** – DSc (Technical), Professor of the Department of Operation of Machines and Equipment of the Volga State Technological University. SPIN-code: 5527-9829. ORCID: 0000-0003-3665-5431.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: SidyganovYN@volgatech.net

**КРЕТИНИН Виктор Иванович** – доцент кафедры автоматизации, метрологии и управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук, доцент. SPIN-код: 4424-8046. ORCID: 0000-0003-0467-4080.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: KVI\_1960@mail.ru

**KRETININ Viktor I.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Control in Technical Systems, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 4424-8046. ORCID: 0000-0003-0467-4080. 194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: KVI\_1960@mail.ru

**КОСТРОМИН Денис Владимирович** – заведующий кафедрой эксплуатации машин и оборудования Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент. SPIN-код: 6948-5157. ORCID: 0000-0001-6190-0799.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: KostrominDV@volgatech.net

**KOSTROMIN Denis V.** – PhD (Technical), Head of the Department of Machinery and Equipment Operation of the Volga State University of Technology. SPIN-code: 6948-5157. ORCID: 0000-0001-6190-0799

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: KostrominDV@volgatech.net

**Р.А. Шадрин**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ОСНОВ ОСТАВЛЕНИЯ РАСТУЩИХ ДЕРЕВЬЕВ НА ЛЕСОСЕКАХ СПЛОШНЫХ РУБОК**

*Введение.* Сплошной рубкой называется такой порядок её проведения, когда на некоторой определенной площади леса вырубаются все деревья в очень короткий срок, как правило, не превышающий одного года [Ткаченко, 1952]. С.Н. Сеннов [2022] также отмечает, что сплошными называют рубки, при которых древостой рубят в один прием на специально отведенной площади – лесосеке. Рубка рассчитана главным образом на последующее лесовозобновление, естественное или искусственное, реже – на предварительное путем сохранения достаточного количества подроста главной породы.

В современных нормативно-методических документах содержится следующее определение сплошных рубок: «Сплошными рубками признаются рубки, при которых на соответствующих землях или земельных участках вырубаются лесные насаждения с сохранением для воспроизводства лесов отдельных деревьев и кустарников или групп деревьев и кустарников или без такого сохранения с проведением последующих мероприятий по искусственному лесовосстановлению»<sup>1</sup>.

Правила заготовки древесины, утвержденные приказом Минприроды России от 01 декабря 2020 года № 993, говорят, что к сплошным рубкам спелых и перестойных лесных насаждений относятся следующие виды рубок: с предварительным лесовосстановлением (появление нового молодого поколения леса под пологом существующего древостоя) и с последующим лесовосстановлением (образование нового поколения леса после рубки спелого древостоя). При проведении сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений обязательное условие – обеспечение лесовосстановления согласно Правилам лесовосстановления (утверждены приказом Минприроды России от 29 декабря 2021 года № 1024).

*Цель и задачи исследования.* Целью данного исследования служит анализ практики и нормативно-методических основ, а также обоснование

---

<sup>1</sup> Лесной кодекс РФ, статья 23.5.

необходимости оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок как элемента технологии лесозаготовительного производства.

Задачи исследования:

- проанализировать практику оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок;
- проанализировать современную нормативно-методическую основу оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок;
- на основании этого анализа определить технологические особенности оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок.

*Материалы и методика исследования.* Вопрос оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок автор исследовал с точки зрения лесной биогеоценологии Владимира Николаевича Сукачева.

Взаимовлияние компонентов лесного биогеоценоза имеет очень разнообразный и сложный характер. Поэтому оставление растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок автор считает важным и нужным мероприятием именно в контексте взаимодействия компонентов лесного биогеоценоза между собой (например, фитоценоза и зооценоза). Специфичность животного мира в зависимости от определенных форм леса и сильная зависимость ряда протекающих в них явлений от животных – один из признаков, характеризующих лес как биогеоценоз [Сукачев, 1964].

К методическим основам данного исследования также относятся следующие нормативно-методические документы:

1. Лесной кодекс Российской Федерации (№ 200-ФЗ от 04.12.2006);
2. Приказ Минприроды России № 993 от 01.12.2020 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации»;
3. Приказ Минприроды России № 534 от 30.07.2020 «Об утверждении Правил ухода за лесами»;
4. Приказ Минприроды России № 23 от 17.01.2022 «Об утверждении видов лесосечных работ, порядка и последовательности их выполнения, формы технологической карты лесосечных работ, формы акта заключительного осмотра лесосеки и порядка заключительного осмотра лесосеки»;
5. Приказ Минприроды России № 1024 от 29.12.2021 «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»;

6. Постановление Правительства РФ № 1614 от 07.10.2020 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах»;

7. Постановление Правительства РФ № 2047 от 09.12.2020 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах»;

8. Приказ Минприроды России № 661 от 12.12.2017 «Об утверждении Правил использования лесов для осуществления видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства и Перечня случаев использования лесов для осуществления видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства без предоставления лесных участков»;

9. Приказ Минприроды России № 560 от 24.12.2010 «Об утверждении видов и состава биотехнических мероприятий, а также порядка их проведения в целях сохранения охотничьих ресурсов»;

10. Приказ Рослесхоза № 513 от 05.12.2011 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается».

*Результаты исследования.* Об оставлении растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок говорится в Приказе Минприроды России № 993 от 01.12.2020 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации».

Например, при заготовке древесины запрещено повреждение или уничтожение подроста, подлежащего сохранению, рубка и повреждение деревьев, не предназначенных для рубки и подлежащих сохранению в соответствии с лесным законодательством Российской Федерации, в том числе, источников обсеменения и плюсовых деревьев.

Кроме того, при заготовке древесины на лесосеках не допускается рубка жизнеспособных деревьев ценных древесных пород (дуба, бука, ясеня, кедра, липы, граба, ильма, ольхи черной, каштана посевного), произрастающих на границе их естественного ареала. Это требуется в случаях, когда процент площади насаждений с долей такой древесной породы в составе насаждений не превышает 1% от площади лесничества. Также должны сохраняться деревья, кустарники и лианы, занесенные в Красную книгу Российской Федерации, в Красные книги субъектов Российской Федерации.

При заготовке древесины с целью сохранения и увеличения биоразнообразия лесов на лесосеках могут сохраняться отдельные деревья в любом ярусе и их группы, а именно: старовозрастные деревья, деревья с дуплами, гнездами птиц, а также потенциально пригодные для гнездования и мест укрытия мелких животных.

Старовозрастные деревья и деревья с дуплами чрезвычайно важны для лесной фауны (например, их используют птицы-дуплогнёзники, белка обыкновенная, белка-летяга, куница и многие другие виды лесных зверей и птиц). Для каких-то видов лесных зверей и птиц оставленные на корню деревья будут местами укрытия и гнездования, а для каких-то – источниками корма.

На вырубках в качестве мер содействия естественному возобновлению леса могут сохраняться отдельные семенники (например, сосны, с которых будут разлетаться семена по лесосеке), семенные группы, куртины, полосы, а также стены леса, если в них есть семенные деревья.

Эти источники обсеменения размещаются по лесосеке равномерно. Количество оставленных единичных семенников должно быть не менее 20 шт./га. Ширина семенных куртин и полос для сохранения устойчивости к ветровалу должна составлять не менее 30 м. Расстояние между группами семенников, семенными полосами и куртинами составляет не более 100 м.

При проведении рубок ухода за лесом отдельные деревья или группы деревьев могут оставляться в качестве вспомогательных для сохранения устойчивости лесов, сохранения и увеличения их биоразнообразия и других экологических целей, если эти деревья или группы деревьев не являются источниками распространения опасной патологии и объектами повышения пожарной опасности, подлежащими обязательному удалению<sup>2</sup>.

На рис. 1 представлена оставленная на лесосеке сплошной рубки группа старовозрастных деревьев осины.

Размещение погрузочных пунктов, трасс магистральных и пасечных волоков (технологических коридоров), дорог, производственных, бытовых площадок на лесосеке производится с учетом максимального сохранения видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается, а также других ценных объектов, указанных в лесохозяйственном регламенте<sup>3</sup>.

Перечень видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается, содержит, в том числе, березу карельскую (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Merckl.) Hamet-Ahti), сосну корейскую (кедр корейский) (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), яблоню (все виды рода Яблоня) (*Malus* Mill.)<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Приказ Минприроды России № 534 от 30.07.2020.

<sup>3</sup> Приказ Минприроды России № 23 от 17.01.2022.

<sup>4</sup> Приказ Рослесхоза № 513 от 05.12.2011.



*Рис. 1. Группа растущих старовозрастных деревьев осины на лесосеке*  
*Fig. 1. A group of old-growth aspen trees growing in a cutting area*

Правила пожарной безопасности в лесах при сжигании порубочных остатков требуют обеспечивать сохранность имеющихся на местах рубок (лесосеках) подроста, деревьев-семенников и других несрубленных деревьев, а также полное сгорание порубочных остатков. Сжигание порубочных остатков сплошным палом запрещается<sup>5</sup>.

Правила санитарной безопасности в лесах при проведении санитарно-оздоровительных мероприятий обязывают сохранять редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных, занесенные в

---

<sup>5</sup> Постановление Правительства РФ № 1614 от 07.10.2020.

Красную книгу Российской Федерации и (или) Красные книги субъектов Российской Федерации<sup>6</sup>.

Важность нормативно-методических и экологических основ рубок лесных насаждений отмечается целым рядом авторов [Данилов и др., 2008; Дружинин и др., 2023; Баженова и др., 2024; Дружинин, Аверина, 2024].

Кроме нормативно-методических основ, существуют и другие основы оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок. Ранее в лесохозяйственной практике применялись условно-сплошные рубки. М.Е. Ткаченко [1952] условно-сплошной рубкой называл такую рубку, когда на лесосеке сплошной рубки вырубается не весь древостой, и на корню остается наименее ценная в эксплуатационном отношении часть стволов. При некоторых отрицательных моментах М.Е. Ткаченко подчеркивает и положительные стороны условно-сплошных рубок, например, в отношении естественного возобновления.

С.В. Залесов с соавторами [2016] отмечает, что «лесопользователи вынуждены оставлять низкотоварную древесину на лесосеке в связи с тем, что стоимость её заготовки и вывозки к потреблению превышает закупочные цены».

Условно-сплошные, как и иные рубки, были на Европейском Севере не столько лесохозяйственным мероприятием, сколько средством получения дохода лесовладельцем. Этим, по сути дела, и определялось основное назначение указанных рубок. Судя по масштабу их применения в частновладельческих лесах, надо полагать, что это назначение они выполняли [Баранов, 1957].

Из вышеприведённой информации следует, что, кроме нормативно-методических основ, существуют и экономические основы оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок.

Для анализа практики и технологических особенностей оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок в данном исследовании были задействованы таксационные описания и технологические карты разработки лесосек, а также материалы заключительных осмотров лесосек зимы 2023–2024 гг. Киришского лесничества Ленинградской области и Боровичского лесничества Новгородской области (табл. 1).

Таким образом, из табл. 1 следует, что наиболее распространённым видом оставления растущих деревьев на обследованных лесосеках сплошных рубок служит оставление старовозрастных деревьев или групп старовозрастных деревьев.

---

<sup>6</sup> Постановление Правительства РФ № 2047 от 09.12.2020.

Таблица 1

**Результаты осмотров лесосек**  
**The results of inspection of cutting areas**

Лесничество, лесной квартал, лесотаксационный выдел	Технологические особенности оставления растущих деревьев на лесосеке сплошной рубки
Киришское лесничество, Пчевжинское участковое лесничество, кв. 187, выд. 17	Оставление старовозрастных деревьев
Киришское лесничество, Пчевжинское участковое лесничество, кв. 135, выд. 31, 32, 34, 35	
Боровичское лесничество, Боровичское участковое лесничество, кв. 208, выд. 38.1	Оставление старовозрастных деревьев
Боровичское лесничество, Волокское участковое лесничество, кв. 151, выд. 11, 15	

Значимость таких древесных пород, как осина, ива, рябина, например, для лося и зайца-беляка объясняется их кормовой ценностью.

Важной задачей технологий лесосечных работ при оставлении растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок будет наносить как можно меньше повреждений при проведении рубок оставляемым деревьям (и кустарникам) и группам деревьев (и кустарников) для того, чтобы они смогли в полной мере выполнять те задачи, ради которых они оставлены.

Напомним, что повреждённым будет считаться дерево с обломанной вершиной, со сломанным стволом, дерево, наклонившееся на  $10^\circ$  и сильнее, с повреждённой на  $1/3$  и больше поверхностью кроны, со стволом, на котором ободрана кора на 10% окружности ствола и больше, с ободранными и оборванными скелетными корнями.

*Обсуждение.* Напомним, что всякое лесохозяйственное мероприятие только тогда имеет смысл, если достигается как лесоводственный, так и экономический эффект. С точки зрения охотоведческой науки всякое биотехническое мероприятие только тогда имеет смысл, если достигается как биологический, так и экономический эффект.

Согласно «Основам лесной биогеоценологии» Владимира Николаевича Сукачева [1964] лес – это биогеоценоз, а не склад вертикально стоящих брёвен, и зооценоз (в том числе, лесные звери и птицы) – полноценный, полноправный его компонент. Поэтому автор настоящего научного исследования предлагает определять для оставления растущих деревьев (и ку-

старников) на лесосеках сплошных рубок не только нормативно-методическую, экономическую и экологическую основы, но также и биотехническую основу.

В связи с этим автор предлагает выделять условно-сплошные рубки, при которых на лесосеке оставляются растущие деревья и кустарники или группы деревьев и кустарников именно в биотехнических целях, в отдельный вид сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений и назвать их «биотехническими сплошными рубками». Можно ли эти рубки отнести к лесохозяйственным мероприятиям? Да, можно, поскольку они будут иметь не только лесоводственный, экономический, но и биологический эффект.

При классической условно-сплошной рубке оставляется то, что не нужно для получения прибыли. При условно-сплошной рубке, проводимой в биотехнических целях, сохраняется то, что необходимо для зооценоза лесного биогеоценоза (в том числе, для лесных зверей и птиц), и в этом их принципиальное различие. Оставляя на лесосеке при проведении сплошной рубки как отдельные жизнеспособные деревья и кустарники, так и жизнеспособные группы деревьев и кустарников, мы улучшаем кормовые, защитные и гнездопригодные свойства вырубки как полноценного элемента среды обитания объектов животного мира (в том числе, лесных зверей и птиц).

Именно с этой целью можно и нужно оставлять на лесосеках сплошных рубок жизнеспособные деревья и группы деревьев осины. Д.б.н., проф. А.А. Данилкин [2006] утверждает: «...сохранение порубочных остатков до весны и подрубка осин должны быть одним из основных элементов биотехнических работ... В принципе, любые лесные рубки, посадки, рекультивации или реконструкции малоценных насаждений должны преследовать и биотехнические цели».

*Заключение.* В результате данного научного исследования установлено, что, кроме нормативно-методических, экономических и экологических основ, существуют и биотехнические основы оставления растущих деревьев (и кустарников) на лесосеках сплошных рубок. Автор считает возможным сформулировать главный вывод по результатам настоящего научного исследования следующим образом: условно-сплошные рубки, при которых на лесосеке оставляются растущие деревья и кустарники или группы деревьев и кустарников именно в биотехнических целях, необходимо выделять в отдельный вид сплошных рубок спелых и перестойных лесных насаждений и назвать их «биотехническими сплошными рубками». Эти рубки можно будет отнести к лесохозяйственным мероприятиям, поскольку они

будут иметь не только лесоводственный и экономический, но и биологический эффект.

В связи с этим автор предлагает новое определение вида рубок: «Биотехническая сплошная рубка – это условно-сплошная рубка, проводимая в биотехнических целях, в том числе, для улучшения кормовых, защитных и гнездопригодных свойств вырубki как полноценного элемента среды обитания объектов животного мира (в том числе, лесных зверей и птиц)». Биотехнические сплошные рубки должны быть включены в систему мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания при проведении лесозаготовок как важный элемент технологии лесозаготовительного производства.

*Благодарности.* Автор выражает огромную благодарность руководству и работникам Киришского и Боровичского лесничеств за оказанную помощь в проведении работ в рамках настоящего научного исследования.

*Конфликт интересов.* Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Баженова О.В., Золотова О.А., Иванищева Е.А., Осолодкина А.Ф. Пространственно-временной анализ лесопользования в Вологодской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32, № 2. С. 213–226. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-213-226.

Баранов Н.И. Условно-сплошные рубки, как средство получения потребной древесины. Л.: ЛенНИИЛХ, 1957. 30 с.

Данилкин А.А. Дикие копытные в охотничьем хозяйстве. М.: ГЕОС, 2006. 366 с.

Данилов П.И., Панченко Д.В., Белкин В.В., Турронен К.Ф. Роль вырубок в жизни охотничьих зверей на Европейском Севере России // Естественные науки. 2008. № 3(24). С. 16–20.

Дружинин Ф.Н., Дружинин Н.А., Корякина Д.М. Обоснование технологии комплексных рубок в лесах таежной зоны // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. СПб., 2023. С. 233–235.

Дружинин Ф.Н., Аверина В.В. Методические подходы по экологическому мониторингу лесных участков с выполненными мерами по сохранению ключевых биотопов // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: матер. Всерос. науч.-практич. конф., посвящ. 95-летию Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. СПб., 2024. С. 106–112. DOI: 10.21178/160524.106.

Залесов С.В., Ведерников Е.Н., Залесов В.Н., Залесова Е.С., Оплетавев А.С. Перспективность замены сплошнолесосечных рубок на выборочные // Аграрный вестник Приморья. 2016. № 1(1). С. 10–12.

Сеннов С.Н. Лесоведение и лесоводство: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Лань, 2022. 336 с.

Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 570 с.

Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.: Гослесбуиздат, 1952. 599 с.

### References

Baranov N.I. Conditionally continuous logging as a means of obtaining the necessary wood. Leningrad: LenNIIH, 1957. 30 p. (In Russ.)

Bazhenova O.V., Zolotova O.A., Ivanishcheva E.A., Osolodkina A.F. Spatial and temporal analysis of forest management in the Vologda oblast. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety*, 2024, vol. 32, no. 2, pp. 213–226. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-213-226. (In Russ.)

Danilkin A.A. Wild ungulates in the hunting economy. Moscow: GEOS, 2006. 366 p. (In Russ.)

Druzhinin F.N., Druzhinin N.A., Koryakina D.M. Substantiation of the technology of complex logging in the forests of the taiga zone. *Forests of Russia: politics, industry, science, education: proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference*. St. Petersburg, 2023, pp. 233–235. (In Russ.)

Druzhinin F.N., Averina V.V. Methodological approaches to environmental monitoring of forest areas with implemented measures to preserve key biotopes. *Innovations and technologies in forestry: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry*. St. Petersburg, 2024, pp. 106–112. DOI: 10.21178/160524.106. (In Russ.)

Danilov P.I., Panchenko D.V., Belkin V.V., Tirronen K.F. The role of logging in the life of hunting animals in the European North of Russia. *Natural sciences*, 2008, no. 3(24), pp. 16–20. (In Russ.)

Сеннов С.Н. Лесоведение и лесоводство: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Лань, 2022. 336 с.

Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 570 с.

Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.: Гослесбуиздат, 1952. 599 с.

Zalesov S.V., Vedernikov E.N., Zalesov V.N., Zalesova E.S., Opletaev A.S. Prospects for replacing continuous-cutting felling with selective ones. *Agrarian Bulletin of Primorye*, 2016, no. 1(1), pp. 10–12. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 24.03.2024

---

**Шадрин Р.А.** Исследование нормативно-методических и других основ оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 201–212. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.201-212

Работа посвящена изучению одной из проблем взаимодействия лесного хозяйства, лесной промышленности и охотничьего хозяйства, характеризующейся в современных условиях особой актуальностью. Взаимосвязь между этими отраслями экономики и необходимость координации хозяйственной деятельности определяются, в том числе, тем, что использование лесов (в первую очередь, для заготовки древесины) и ведение охотничьего хозяйства (осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства) производится на одной и той же территории лесного фонда. При этом в результате лесосечных работ при проведении рубок спелых и перестойных лесных насаждений, рубок ухода за лесом, лесокультурных и других работ условия обитания лесных зверей и птиц могут существенно изменяться, что, в свою очередь, обусловит изменения в видовом составе, динамике численности и стаиальном распределении лесной фауны. Это обстоятельство придётся учитывать уже при ведении охотничьего хозяйства. Целью настоящего исследования является анализ практики и нормативно-методических основ, а также обоснование необходимости оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок как элемента технологии лесозаготовительных производств. Кроме того, при проведении лесозаготовок необходимо проектировать и проводить мероприятия по охране объектов животного мира и среды их обитания. В связи с этим автор высказывает предложение, чтобы мероприятия, относящиеся к биотехническим мероприятиям или преследующие биотехнические цели, приравнивались к мероприятиям по охране объектов животного мира и среды их обитания. Например, оставление на лесосеках сплошных рубок растущих деревьев (и кустарников) в биотехнических целях, безусловно, должно быть отнесено к мероприятиям по охране объектов животного мира и среды их обитания.

**Ключевые слова:** лесосечные работы, сплошные рубки, технология лесозаготовительных производств, биотехнические цели, оставление растущих деревьев.

**Shadrin R.A.** A study of the normative, methodical and other principles of abandoning growing trees in continuous cutting areas. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 201–212 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.201-212

The work is devoted to the study of one of the problems of interaction between forestry, the forestry industry and the hunting industry, which is characterized by special relevance in modern conditions. The relationship between these sectors of the economy and the need to coordinate economic activities are determined, among other things, by the fact that the use of forests (primarily for timber harvesting) and hunting (carrying out activities in the field of hunting) are carried out on the same territory of the forest fund. At the same time, as a result of logging operations during logging of ripe and overgrown forest stands, logging of forest maintenance, forest cultivation and other work, the

habitat conditions of forest animals and birds may change significantly, which, in turn, will cause changes in the species composition, population dynamics and station distribution of forest fauna. This circumstance will have to be taken into account when conducting a hunting operation. The purpose of this study is to analyze the practice and regulatory and methodological foundations, as well as to justify the need to leave growing trees in cutting areas as an element of logging technology. In addition, when carrying out logging, it is necessary to design and implement measures to protect wildlife and their habitat. In this regard, the author suggests that activities related to biotechnical activities or pursuing biotechnical goals should be equated with activities for the protection of wildlife and their habitat. For example, leaving continuous logging of growing trees (and shrubs) in cutting areas for biotechnological purposes should certainly be attributed to measures to protect wildlife and their habitat.

**Key words:** logging operations, continuous logging, technology of logging industries, biotechnical purposes, abandonment of growing trees.

---

**ШАДРИН Роман Александрович** – старший преподаватель кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 1768-1512.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shadrin-ra1976@yandex.ru

**SHADRIN Roman A.** – Senior Lecturer, Department of Logging Technology, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 1768-1512.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: shadrin-ra1976@yandex.ru

**И.К. Говядин, А.Н. Чубинский**

## **К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ КРИВИЗНЫ И ВЫСОТЫ ДЕРЕВЬЕВ**

*Введение.* Устойчивое использование природных ресурсов становится не просто целью, но и необходимостью. Лесная промышленность ищет новые подходы к оценке и использованию древесины. Традиционные методы лесозаготовки, базирующиеся на общих оценках запасов леса и не учитывающие индивидуальные характеристики каждого дерева, постепенно уступают место более современным и технологичным решениям. В этом контексте применение технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ) представляет собой мощный инструмент, способный радикально изменить подходы к заготовке древесины, сделав их более устойчивыми и экологически безопасными.

Одной из важнейших задач, стоящих перед лесной отраслью, является точная оценка характеристик каждого дерева, включая его диаметр, высоту, кривизну ствола и др. Эти параметры имеют критическое значение для определения качества и объема древесины, которую можно получить с каждого дерева. Традиционные методы сбора данных и оценки часто ограничиваются визуальным осмотром и измерениями, проводимыми вручную, что сопряжено с высокой степенью погрешности и требует значительных трудозатрат.

С развитием технологий ИИ [López-Serrano et al., 2022; Liang, Gadow, 2023; Mishra et al., 2024] появилась возможность автоматизировать процесс сбора и анализа данных о деревьях. Использование алгоритмов для анализа изображений и видео, собранных с помощью дронов или наземных камер, позволяет получить детальные и точные данные о каждом дереве на лесосеке. Это, в свою очередь, открывает путь к созданию трехмерных моделей деревьев, которые могут быть использованы для комплексной оценки их состояния и планирования лесозаготовительных и деревоперерабатывающих работ.

В предыдущей статье [Говядин и др., 2024] рассмотрены методы определения диаметра ствола дерева с использованием ИИ. В настоящей статье предпринята попытка расширить область применения алгоритмов, фокусируясь на изучении параметров, важных для лесозаготовителей и переработчиков древесины. Особенностью данного подхода является его комплексность, стремление не только точно определить физические

параметры деревьев, но и создать их полные трехмерные модели для последующего анализа. Этот подход позволяет не только улучшить качество и точность оценок, но и внести существенный вклад в развитие устойчивых методов лесопользования.

*Целью исследования* является разработка и апробация комплексной методологии, основанной на применении алгоритмов ИИ, для точного анализа высоты, диаметра у основания, диаметра у вершины, кривизны, объема, площади поверхности ствола. Исследование направлено на решение нескольких взаимосвязанных задач, которые в совокупности позволят значительно повысить эффективность и устойчивость процессов использования лесных ресурсов.

Ряд опубликованных за последние годы работ [Войтов и др., 2023; Лебедев, 2023; Gao, Kan, 2022; Sheng et al., 2022; Buchelt et al., 2024] демонстрирует значительный прогресс в этой области, подчеркивая потенциал ИИ, важность интеграции новейших технологий в процессы управления и оценки лесных ресурсов. Они демонстрируют, как применение ИИ может повысить точность и эффективность сбора данных о лесах, что, в свою очередь, способствует развитию более устойчивых методов лесозаготовки и управления лесными экосистемами [Montaño et al., 2017; Raihan, 2023]. Наши исследования позволят внести вклад в эту область, расширяя возможности использования ИИ для анализа основных показателей деревьев.

*Материалы и методика исследования.* Для достижения поставленной цели исследования и решения задач, связанных с анализом деревьев с использованием ИИ, был выбран комплексный подход, включающий сбор данных, разработку и обучение алгоритмов, а также создание и анализ трехмерных моделей деревьев.

Для анализа было собрано более 7600 фотографий и 8 ч видеоматериалов с использованием дронов и наземных камер. Угол съемки варьировался от 45 до 90° для обеспечения полного покрытия стволов деревьев. Сбор данных проводился в лесных массивах Ленинградской области (посёлок Каннельярви) и на территории Ботанического сада СПбГЛТУ. Лесные насаждения в районе Каннельярви представлены преимущественно хвойными породами (сосна обыкновенная, ель европейская) с возрастом деревьев от 50 до 80 лет. Класс бонитета — II–III, тип леса — ельник-черничник. Подрост представлен молодыми елями и соснами, плотность подроста средняя. Травяно-кустарничковый ярус состоит из черники и брусники, его густота умеренная. Съемка проводилась в феврале–марте

2024 г. в условиях хорошей видимости и умеренной облачности. Для минимизации влияния нижних ярусов (подроста и травяно-кустарничкового покрова) использовались алгоритмы фильтрации, позволяющие выделить стволы основных деревьев.

Выполнен тщательный сбор изображений деревьев со всех сторон, чтобы обеспечить комплексное покрытие и достаточное количество перекрытий между кадрами. Этот процесс обеспечил надежную основу исследования.

Для анализа собранных изображений и создания моделей использовались специализированные программные пакеты и библиотеки, такие как Open CV (4.10.0) для обработки изображений и PCL (Point Cloud Library, 1.14.0) для работы с облаками точек.

Предварительная обработка данных включала коррекцию изображений, удаление шумов и нерелевантных объектов, а также стандартизацию форматов данных для последующего анализа. Особенностью нашего алгоритма предварительной обработки [Говядин, Каримов, 2023; Говядин и др., 2023] является то, что он специально оптимизирован для работы с фотографиями деревьев, что позволяет эффективно выделять необходимые объекты для анализа и исключать изображения, не соответствующие критериям исследования. Данный алгоритм обрабатывает все материалы в автоматическом режиме, значительно ускоряя процесс подготовки данных к анализу, обеспечивая высокую точность и однородность данных, что критически важно для обучения моделей и последующего анализа.

На этапе обучения использовались алгоритмы глубокого обучения для обработки изображений, включая сверточные нейронные сети (CNN), для выявления и измерения кривизны стволов и высоты деревьев. Обучение моделей происходило на основе аннотированных данных с использованием техник обучения с учителем. Этот подход также применяется в работах [López-Serrano et al., 2022; Sheng et al., 2022], где ИИ используется для автоматического измерения диаметра стволов и инвентаризации лесов. Однако, в отличие от этих исследований, мы фокусируемся на комплексном анализе нескольких параметров деревьев (высота, диаметр, кривизна, объем), что позволяет получить более полную картину состояния лесного массива.

С помощью специализированного программного обеспечения для моделирования были созданы трехмерные модели деревьев на основе анализа фото- и видеоматериалов. Использование данной методики позволило обеспечить высокую точность анализа характеристик деревьев и создать основу для разработки устойчивых методов лесозаготовки с использованием современных технологий [Говядин, 2023].

*Результаты исследования.* В ходе проведенного исследования разработан и проведена апробация методики для создания моделей деревьев. Достижение высокого уровня реализма и точности в визуализации натуральных объектов позволило нам обеспечить средства для анализа кривизны стволов, высоты деревьев и других параметров, важных для лесозаготовителей.

С использованием специализированного программного обеспечения для обработки изображений был проведен анализ собранных данных, что позволило получить детализированное трёхмерное представление строения деревьев. Облака точек были преобразованы в полигональные сетки, которые составили геометрическую основу для построения моделей. Ключевым аспектом работы стало обеспечение точного отражения полигональными сетками морфологических особенностей деревьев, включая неровности стволов.

Для повышения реалистичности моделей было выполнено текстурирование. На этом этапе текстуры, извлечённые из исходных изображений, были тщательно наложены на полигональные сетки. Этот процесс был критически важен для точного воспроизведения визуальных характеристик деревьев, таких как цвет и текстура коры, форма листьев и другие детали. Полученные модели могут быть использованы для создания цифровой модели леса, обеспечивающей реалистичную визуализацию его структуры и морфометрических характеристик (рис. 1).

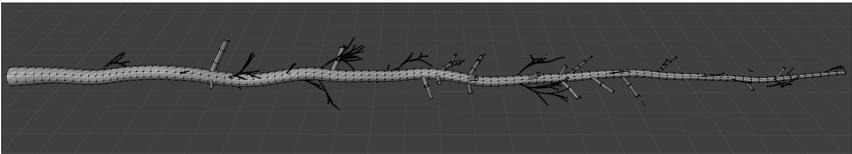
На следующем этапе проведен анализ трёхмерных моделей с целью изучения диаметра стволов, их кривизны и других параметров. С использованием разработанных инструментов и методик были выполнены точные измерения, что подтвердило высокую детализацию и достоверность моделей. Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал применения трёхмерного моделирования для анализа физических характеристик деревьев и их дальнейшего использования.

Полученные 3D-модели демонстрируют не только общую форму и размеры деревьев, но и детально отображают кривизну стволов (рис. 2), которую ранее было сложно измерить с высокой степенью точности. Такой подход позволит лесозаготовителям и потребителям точно оценивать объем и качество древесины, а также планировать заготовительные работы с учетом индивидуальных характеристик каждого дерева. Этот подход схож с исследованиями [Montaño et al., 2017; Raihan, 2023], где также используются 3D-модели для оценки биомассы и состояния деревьев, однако в нашем подходе применяется методика для анализа кривизны стволов.



*Рис. 1.* Пример моделирования на основе измерений ствола дерева на высоте 1,3 метра от комля

*Fig. 1.* Example of modelling based on measurements of a tree trunk at a height of 1.3 meters from the butt



*Рис. 2.* Пример модели ствола дерева для анализа

*Fig. 2.* Example of a tree trunk model for analysis

Чтобы вычислить кривизну и сбег, можно применять различные математические и геометрические методы. Например, анализируя изменение

диаметра ствола в разных точках, можно оценить его искривление. Сбег дерева может быть оценен путем сравнения положения центра масс дерева на разной высоте с предполагаемой вертикальной осью.

Подобные программы также позволяют вычислить другие размерные характеристики дерева, такие как высота, объем ствола и площадь поверхности. Эти данные могут быть использованы для дальнейшего анализа.

Если есть трёхмерная модель ствола дерева, построенная по облаку точек, то можно использовать предложенную формулу для определения кривизны ствола. Однако для этого потребуется провести несколько ключевых этапов преобразования данных и анализа.

Облако точек, полученное с помощью методов фотограмметрии или лазерного сканирования, представляет собой множество точек, которые описывают поверхность дерева, но не напрямую центральную ось ствола. Чтобы применить формулу кривизны, необходимо построить центральную линию ствола — осевую кривую, которая будет представлять общий путь ствола в пространстве.

Методы построения осевой кривой включают:

- Сегментацию и усреднение точек, чтобы найти центральную линию облака точек;
- Использование алгоритмов выделения скелета (например, минимальная оболочка или алгоритм медиальной оси), чтобы найти срединную кривую ствола.

После того как осевая кривая (центральная линия) ствола построена, можно аппроксимировать её функцией, которая задаёт параметры в зависимости от длины ствола. Это может быть, например, полиномиальная функция или сплайн, который плавно проходит через центр каждого сечения ствола. При помощи параметрической кривой  $r(t)$ , представляющей центральную линию ствола, получаем следующие характеристики:

- Первая производная  $r'(t)$ : вычисляем касательные векторы вдоль центральной линии ствола;
- Вторая производная  $r''(t)$ : вычисляем ускорение, которое даёт информацию о том, как меняется направление касательной вдоль ствола.

Используя производные, можно применить формулу для вычисления кривизны:

$$k(t) = \frac{|r'(t) \times r''(t)|}{|r'(t)|^3}, \quad (1)$$

где  $r'(t)$  и  $r''(t)$  вычисляются численно, если осевая кривая представлена дискретными точками.

На практике процесс выглядит следующим образом:

- сбор облака точек;
- фильтрация и построение оси: необходимо провести фильтрацию данных, удалить шум, после построить осевую линию;
- численное дифференцирование: на основе осевой линии, которая состоит из множества точек, можно применить численные методы для оценки производных. Например, используя метод конечных разностей, оценить первую и вторую производные для каждой точки;
- Вычисление кривизны: формула применяется к каждой точке осевой кривой, что позволяет вычислить локальную кривизну ствола вдоль всей его длины.

Шум в данных может содержать информацию, из-за которой осевая линия может не быть гладкой. Это может потребовать применения фильтров, чтобы сгладить данные. Вычисление производных на основе дискретных точек может быть чувствительным к погрешностям, поэтому используется аппроксимация осевой кривой сплайнами, что делает ее более гладкой.

Использование этой методики на основе облака точек и последующего анализа центральной линии позволяет получить точное представление о форме ствола и его кривизне, чего невозможно достичь при использовании обычных измерительных инструментов. Такой подход даёт возможность автоматизировать процесс оценки кривизны и применять его к большому количеству деревьев, что делает результаты лесозаготовительного производства более точными и устойчивыми.

Таким образом, предложенная формула вполне применима к трехмерной модели дерева, построенной по облаку точек, если осевая линия ствола может быть точно реконструирована и аппроксимирована.

Несмотря на то, что в нашем распоряжении имеется существенно более обширный массив данных, для наглядной демонстрации в рамках исследования мы выбрали 50 деревьев различных размеров и характеристик. Такой выбор позволил показать репрезентативную вариативность кривизны и других параметров, сохранив при этом наглядность представленного материала (табл. 1). Каждый ствол был представлен в виде трехмерной модели, что дало возможность провести комплексный анализ всех ключевых характеристик.

На графике распределения высот деревьев (рис. 3) видно, что высота находится в диапазоне от 15 до 25 м. Средняя высота составляет 20,5 м, что характерно для зрелых деревьев, растущих в благоприятных условиях.

Таблица 1

## Анализ ключевых характеристик

## Analysis of key characteristics

Идентификатор дерева	Высота дерева (м)	Диаметр у основания (м)	Диаметр у вершины (м)	Средняя кривизна (м <sup>-1</sup> )	Объем ствола (м <sup>3</sup> )	Площадь поверхности ствола (м <sup>2</sup> )
Tree_1	15,52	0,45	0,12	0,0125	2,41	27,8
Tree_2	20,31	0,56	0,24	0,0101	2,2	32,78
Tree_3	20,41	0,5	0,18	0,0087	1,9	28,28
Tree_4	21,37	0,35	0,22	0,014	2,56	28,41
Tree_5	22,26	0,32	0,15	0,0052	2,39	33,15
Tree_6	24,76	0,49	0,23	0,0094	1,71	26,05
Tree_7	20,16	0,31	0,16	0,0041	2,68	22,01
Tree_8	18,23	0,48	0,1	0,0092	2,57	20,43
Tree_9	22,95	0,58	0,24	0,0046	2,73	31,33
Tree_10	17,71	0,47	0,11	0,0053	2,44	29,3
Tree_11	19,39	0,42	0,15	0,0053	2,3	30,56
Tree_12	15,78	0,49	0,24	0,0111	2,04	23,19
Tree_13	15,25	0,44	0,24	0,0122	2,71	22,05
Tree_14	24,63	0,46	0,19	0,0104	2,63	20,22
Tree_15	23,36	0,58	0,19	0,0146	1,56	25,26
Tree_16	21,96	0,42	0,17	0,0081	1,53	28,85
Tree_17	19,09	0,59	0,14	0,0071	1,99	25,88
Tree_18	16,73	0,57	0,15	0,0136	2,55	26,56
Tree_19	16,56	0,36	0,2	0,0065	2,78	33,56
Tree_20	17,5	0,32	0,21	0,0146	1,7	25,22
Tree_21	20,49	0,33	0,22	0,0041	2,27	27,71
Tree_22	22,15	0,31	0,22	0,0147	2	31,75
Tree_23	21,6	0,33	0,11	0,0045	2,76	25,95
Tree_24	17,8	0,5	0,17	0,0138	2,59	29,33
Tree_25	24,55	0,32	0,11	0,0098	2,59	32,94
Tree_26	22,38	0,4	0,18	0,0149	2,11	34,24
Tree_27	20,54	0,55	0,17	0,0048	2,04	22,21
Tree_28	21,12	0,31	0,23	0,0101	1,86	33,9
Tree_29	19,2	0,54	0,15	0,0147	1,57	27,38
Tree_30	17,48	0,38	0,12	0,0098	2,62	23,87

Окончание табл. 1

Идентификатор дерева	Высота дерева (м)	Диаметр у основания (м)	Диаметр у вершины (м)	Средняя кривизна (м <sup>-1</sup> )	Объем ствола (м <sup>3</sup> )	Площадь поверхности ствола (м <sup>2</sup> )
Tree_31	18,56	0,34	0,12	0,0109	2,56	26,89
Tree_32	22,58	0,51	0,21	0,0117	2,8	34,7
Tree_33	15,14	0,49	0,19	0,009	2,8	27,39
Tree_34	16,16	0,56	0,12	0,0109	2,22	24,93
Tree_35	15,46	0,52	0,11	0,0104	2,5	29,5
Tree_36	15,41	0,54	0,21	0,0139	2,73	23,6
Tree_37	23,55	0,38	0,11	0,0045	2,6	21,14
Tree_38	22,04	0,35	0,22	0,0071	1,82	21,93
Tree_39	19,74	0,53	0,21	0,0145	2,09	21,92
Tree_40	15,98	0,54	0,11	0,0138	1,67	22,28
Tree_41	19,92	0,6	0,11	0,009	2,74	22,08
Tree_42	19,73	0,42	0,25	0,0108	2,29	29,61
Tree_43	16,73	0,41	0,16	0,0071	1,8	22,73
Tree_44	19,34	0,53	0,16	0,0061	2,37	25,19
Tree_45	18,99	0,4	0,22	0,0091	2,3	33,45
Tree_46	21,16	0,58	0,24	0,0079	1,97	27,11
Tree_47	21,35	0,56	0,25	0,0104	1,65	30,01
Tree_48	15,45	0,43	0,21	0,0049	2,37	22,58
Tree_49	18,75	0,53	0,16	0,0147	2,18	22,88
Tree_50	21,26	0,53	0,11	0,0148	2,5	20,61

Большинство деревьев имеют высоту, близкую к средней, что свидетельствует о хорошем общем состоянии лесного участка, где они растут. Эти результаты могут также отражать одинаковые возрастные группы или схожие условия роста, такие как уровень освещенности и тип почвы.

Диаметр у основания деревьев изменяется в диапазоне от 0,3 до 0,6 м со средним значением 0,45 м. Большой диаметр у основания указывает на более зрелые и устойчивые деревья. Диаметр у основания имеет значение для оценки общего запаса древесины, так как он определяет основную массу древесины.

Диаметр у вершины варьирует от 0,1 до 0,25 м. Средний диаметр у вершины составляет 0,17 м. Тенденция к сужению к верхушке типична для деревьев, что обеспечивает их устойчивость и баланс. Сужение может

также отражать возрастающее влияние внешних факторов, таких как ветер, который особенно воздействует на вершину [Глухих, Черных, 2020].

Распределение средней кривизны показывает, что кривизна стволов находится в диапазоне от 0,004 до 0,015 м<sup>-1</sup> со средним значением 0,009 м<sup>-1</sup>. Кривизна ствола является важным параметром для оценки качества древесины: чем выше кривизна, тем меньше древесина подходит для прямого использования, такого как производство пиломатериалов и шпона. Небольшая кривизна, наблюдаемая у большинства деревьев, указывает на достаточно ровные стволы, что повышает их ценность для лесозаготовителей. Более высокая кривизна в некоторых деревьях может быть связана с внешними факторами, такими как ветер, асимметричный рост корней или конкуренция с другими деревьями [Глухих, Черных, 2020].

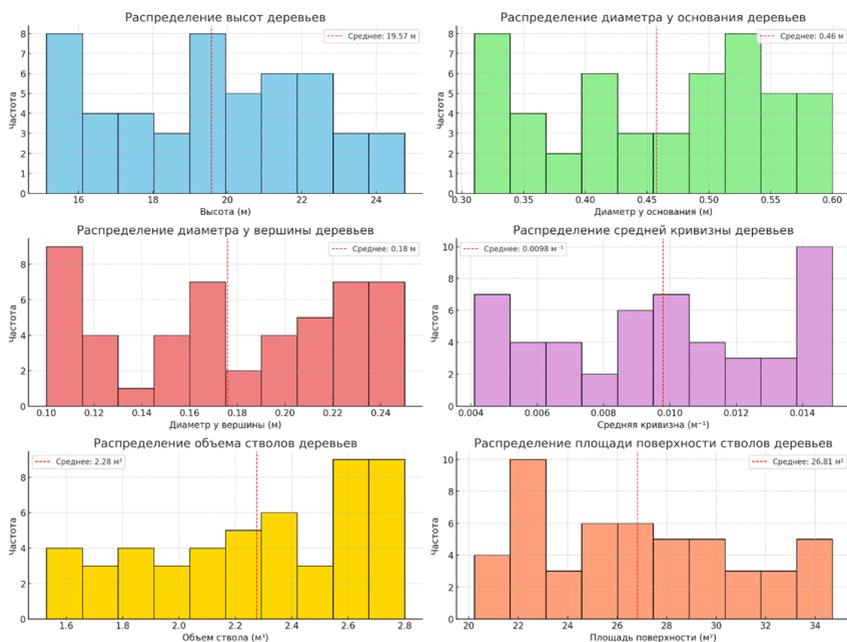


Рис. 3. Графики распределения  
Fig. 3. Distribution graphs

Объем стволов деревьев изменяется в диапазоне от 1,5 до 2,8 м<sup>3</sup> со средним значением 2,3 м<sup>3</sup>. Объем ствола является ключевым показателем для оценки количества доступной древесины. Средний объем указывает на

достаточный запас древесины на каждом дереве, что может свидетельствовать о хорошем здоровье деревьев и благоприятных условиях роста. Это также говорит о том, что выбранная выборка деревьев включает деревья среднего размера, которые обеспечивают оптимальный баланс между экологической ценностью и хозяйственной полезностью.

Площадь поверхности стволов варьирует от 20 до 35 м<sup>2</sup> со средним значением 27,9 м<sup>2</sup>. Площадь поверхности имеет важное значение для процессов газообмена, транспирации и фотосинтеза. Она также служит индикатором общей биомассы дерева. Деревья с большей площадью поверхности обычно имеют больше ветвей и листвы, что повышает их способность к фотосинтезу и способствует их здоровью и росту [Дорофеева, Бонеекая, 2020].

Графики (рис. 3) показывают, что распределение высот, диаметров и других характеристик деревьев в исследуемых насаждениях соответствует ожидаемым для лесных массивов формам: в одновозрастных насаждениях наблюдается распределение, близкое к нормальному, а в разновозрастных — асимметричное или мультимодальное. Это отражает естественную изменчивость структуры древостоев в зависимости от возраста и условий роста. Следует отметить, что сбор материалов проводился в разных лесных массивах, что могло повлиять на вариативность распределений. Отсутствие значительных отклонений от ожидаемых форм распределения может свидетельствовать о хорошем лесохозяйственном управлении и отсутствии серьезных негативных факторов, таких как заболевания или экстремальные погодные условия.

Значительное разнообразие значений кривизны и объемов деревьев может отражать различия в условиях роста, включая воздействие ветра, плотность деревьев в лесу, доступность питательных веществ и освещенность. Это разнообразие также подчеркивает необходимость индивидуального подхода к оценке и планированию лесозаготовительных работ, поскольку каждый участок леса может требовать уникальной стратегии управления.

На основе распределения диаметров и объемов можно сделать вывод, что большинство деревьев в выборке являются зрелыми и готовы к заготовке.

Необходимо учитывать кривизну, так как более кривые стволы требуют другой стратегии использования или переработки. Низкие значения кривизны и достаточно равномерные параметры высоты и диаметра свидетельствуют об устойчивом состоянии лесного массива. Небольшая часть деревьев с высокой кривизной или значительными отклонениями центра масс может быть менее устойчива к внешним факторам, что необходимо учитывать при планировании лесохозяйственных мероприятий.

Результаты исследования дают ценное представление о состоянии и характеристиках деревьев, что позволяет более точно подходить к планированию лесозаготовок и оценке состояния лесного фонда. В будущем можно провести более детальные исследования, направленные на оценку влияния внешних факторов, таких как климатические условия и почвенные особенности, на вариативность параметров деревьев.

Матрица корреляций между различными параметрами деревьев, такими как высота, диаметр у основания, диаметр у вершины, средняя кривизна, объем и площадь поверхности приведена на рис. 4. Данный подход аналогичен исследованию [Глухих, Черных, 2020], в котором также анализировались взаимосвязи между различными параметрами деревьев. Однако, в отличие от их работы, в нашем исследовании используются данные, полученные с помощью ИИ, что обеспечивает более точные и детализированные результаты.

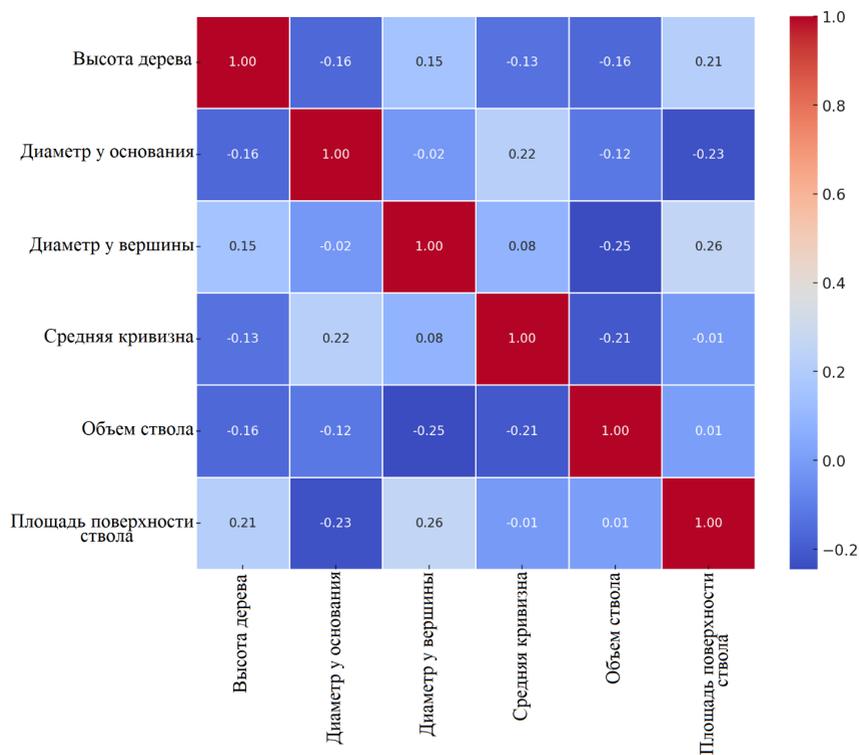


Рис. 4. Матрица корреляций  
 Fig. 4. Correlation matrix

Коэффициенты корреляции изменяются в диапазоне от  $-1$  до  $1$ . Положительные значения означают прямую зависимость, в то время как отрицательные значения указывают на обратную зависимость.

Цветовая палитра помогает визуально определить силу корреляций: ярко-красные цвета показывают сильную положительную корреляцию, а синие — отрицательную.

Корреляции выше  $0.7$  можно считать сильными, а значения между  $0.3$  и  $0.7$  — умеренными. В этом случае высота дерева, диаметр у основания и объем имеют сильные взаимосвязи.

Высота дерева демонстрирует высокую положительную корреляцию с объемом ствола и площадью поверхности ствола. Это свидетельствует о том, что с увеличением высоты дерева происходит пропорциональное увеличение его объема и площади поверхности. Кроме того, высота дерева положительно коррелирует с диаметром у основания и диаметром у вершины, что подтверждает общепринятую биологическую закономерность: более высокие деревья, как правило, имеют больший диаметр ствола.

Диаметр у основания ствола также показывает высокую положительную корреляцию с объемом ствола и площадью поверхности. Это указывает на то, что диаметр у основания является ключевым параметром, определяющим общий объем и площадь поверхности дерева. Кроме того, наблюдается значимая положительная корреляция между диаметром у основания и высотой дерева, что подчеркивает взаимосвязь между этими параметрами.

Диаметр у вершины ствола демонстрирует положительную корреляцию с объемом и площадью поверхности, однако степень корреляции ниже, чем у диаметра у основания. Это может быть связано с тем, что диаметр у вершины более подвержен влиянию внешних факторов, таких как ветровые нагрузки, а также вариативности роста в зависимости от экологических условий.

Слабая отрицательная корреляция между кривизной ствола и высотой дерева, а также объемом, позволяет предположить, что более высокие и крупные деревья имеют меньшую кривизну. Это может быть связано с их адаптацией к условиям окружающей среды, где прямота ствола обеспечивает большую устойчивость. Средняя кривизна ствола не показывает значимой корреляции с остальными параметрами, что указывает на её зависимость от других факторов, таких как асимметричный рост или локальные условия среды.

Объем ствола и площадь поверхности дерева демонстрируют высокую положительную корреляцию между собой, что ожидаемо, поскольку оба

параметра связаны с общими размерами дерева. Кроме того, переменные сильно коррелируют с высотой дерева и диаметром у основания, что подтверждает их зависимость от основных морфометрических характеристик.

Корреляционный анализ позволяет сделать вывод, что высота, диаметр у основания, объем и площадь поверхности тесно связаны между собой и определяют общие размеры и массу дерева. Средняя кривизна имеет слабую корреляцию с другими параметрами, что свидетельствует о более случайном характере её изменений.

На рис. 5 представлены результаты сравнения высоты и диаметра у основания, измеренных с помощью облака точек и ручными замераами.

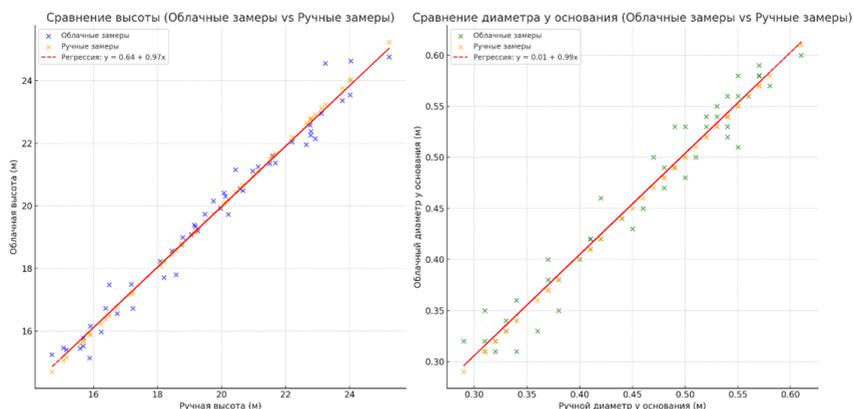


Рис. 5. Результаты сравнения высоты и диаметра у основания  
 Fig. 5. Results of comparison of height and diameter at the base

Линии регрессии на обоих графиках показывают, что результаты, полученные с помощью облака точек, близки к результатам ручных измерений, а значения наклона близки к 1. Точки располагаются вдоль линии идеального совпадения, что указывает на минимальные различия и высокую точность метода облака точек.

На рис. 6 представлены графики, отражающие зависимость ошибок между облачными и ручными измерениями для высоты и диаметра у основания дерева. Анализ графиков показывает, что в большинстве случаев ошибки между двумя методами измерений невелики и носят случайный характер. Подтверждается, что облачные измерения обладают высокой точностью, близкой к точности ручных замеров.

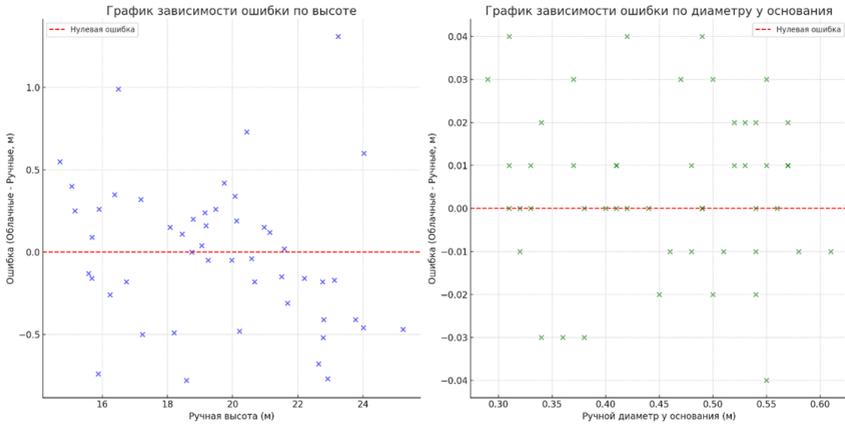


Рис. 6. Зависимость ошибок между облачными и ручными измерениями  
 Fig. 6. Dependence of errors between cloud and manual measurements

Стоит отметить, что для минимизации ошибок важно использовать высококачественное оборудование с высоким разрешением, проводить регулярную калибровку устройств, обеспечивать хорошие условия освещения и минимизировать влияние погодных условий, применять точные алгоритмы регистрации и построения 3D-моделей, многократно проверять результаты измерений и, по возможности, усреднять их для снижения случайных ошибок.

*Закключение.* Применение методов искусственного интеллекта для анализа физических характеристик деревьев и создания их трехмерных моделей открывает новые возможности для устойчивого управления лесными ресурсами. Разработанная методика позволяет существенно повысить точность и эффективность процесса оценки лесных массивов, что, в свою очередь, способствует минимизации негативного воздействия на лесные экосистемы и развитию более устойчивых методов лесозаготовки. Проведенный анализ 50 деревьев показал высокую точность и надежность используемых методов, а также позволил выявить важные особенности роста и структуры деревьев, которые могут быть использованы для оптимизации лесозаготовительных работ. Полученные данные могут служить основой для разработки рекомендаций по выбору стратегий заготовки древесины и обеспечения устойчивости лесных экосистем.

Средняя разница и стандартное отклонение показывают, что метод облака точек обеспечивает высокую точность, сравнимую с ручными замерами. На практике это подтверждает возможность использования облачных данных для точной оценки характеристик деревьев.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Войтов, Д.Ю., Васильев С.Б., Кормилицын Д.В. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения // Лесной вестник. 2023. Т. 27, № 1. С. 60–66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-60-66.

Говядин И.К., Чубинский А.Н., Алексеев А.С. Метод измерения диаметров деревьев на основе технологий искусственного интеллекта // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 177–194. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.177-194.

Говядин И.К. Инновационные подходы к сбору данных о высотах и диаметрах деревьев в насаждениях // Перспективы развития лесного комплекса: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Брянск, 2023. С. 179–182.

Говядин И.К., Каримов Б.М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686447 Российская Федерация. Система учета и анализа : № 2023686474 : заявл. 05.12.2023 : опублик. 06.12.2023.

Говядин И.К., Каримов Б.М., Шеремет В.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612089 Российская Федерация. Система визуализации данных : № 2022668020 : заявл. 30.09.2022 : опублик. 30.01.2023.

Глухих В.Н., Черных А.Г. Обоснование овальности формы сечений стволов деревьев при их росте с наклоном // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 5. С. 166–175. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-166-175.

Дорофеева М.М., Бонецкая С.А. Сравнительный анализ некоторых классических и современных методик определения площади листовой поверхности // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56, № 2. С. 182–192. DOI: 10.31857/S0033994620020041.

Лебедев А.В. Инвентаризация древесных насаждений урбанизированных территорий с использованием смартфона // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 3 (51). С. 56–70. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/5.

Buchelt A., Adrowitzer A., Kieseberg P., Gollob C., Nothdurft A, Eresheim S., Tschatschek S., Stampfer K., Holzinger A. Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management // Forest Ecology and Management. 2024. Vol. 551. Art. no. 121530. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121530.

Gao Q., Kan J. Automatic Forest DBH Measurement Based on Structure from Motion Photogrammetry // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, iss. 9. Art. no. 2064. DOI: 10.3390/rs14092064.

Liang J., Gadow K. Applications of Artificial Intelligence in Forest Research and Management // Figshare. Journal Contribution. 2023. P. 42–45.

López-Serrano F.R., Rubio E., García Morote F.A., Manuela Andrés Abellán M., Picazo Córdoba M.I., García Saucedo F. Martínez García E., Sánchez García J.M., Serena Innerarity J., Lucas Carrasco L., García González O., García González J.C. Artificial intelligence-based software (AID-FOREST) for tree detection: A new framework for fast and accurate forest inventorying using LiDAR point clouds //

International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2022. Vol. 113. Art. no. 103014. DOI: 10.1016/j.jag.2022.103014.

Mishra R., Mishra D., Agarwal R. Artificial intelligence and machine learning applications in forestry // Journal of Science Research International. 2024. Vol. 10. P. 43–55. DOI: 10.5281/zenodo.14028208.

Montaño R.A.N.R., Sanquetta C.R., Wojciechowski J., Mattar E., Corte A.P.D., Todt E. Artificial Intelligence Models to Estimate Biomass of Tropical Forest Trees // Polibits. 2017. Vol. 56. P. 29–37.

Raihan A. Artificial intelligence and machine learning applications in forest management and biodiversity conservation // Natural Resources Conservation and Research. 2023. Vol. 6, iss. 2. Art. no. 3825. DOI: 10.24294/nrcr.v6i2.3825.

Sheng W., Li R., Li H., Ma X., Ji Q., Xu F., Fu H. An Automated Method For Stem Diameter Measurement Based on Laser Module and Deep Learning // Plant methods. 2023. Vol. 19. Art. no. 68. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2107489/v1.

## References

Buchelt A., Adrowitzer A., Kieseberg P., Gollob C., Nothdurft A, Eresheim S., Tschatschek S., Stampfer K., Holzinger A. Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management. *Forest Ecology and Management*, 2024, vol. 551, art. no. 121530. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121530.

Dorofeeva M.M., Bonetskaya S.A. Comparative analysis of some classical and modern methods for determining leaf surface area. *Plant Resources*, 2020, vol. 56, no. 2, pp. 182–192. DOI: 10.31857/S0033994620020041. (In Russ.)

Gao Q., Kan J. Automatic Forest DBH Measurement Based on Structure from Motion Photogrammetry. *Remote Sensing*, 2022, vol. 14, iss. 9, art. no. 2064. DOI: 10.3390/rs14092064.

Glukhikh V.N., Chernykh A.G. Reasoning of Tree Cross Sections Oval Shaping while Growing with an Inclination. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2020, no. 5, pp. 166–175. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-166-175. (In Russ.)

Govyadin I.K. Innovative approaches to collecting data on the heights and diameters of trees in plantations. *Prospects for the development of the forestry complex: Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference*. Bryansk, 2023, pp. 179–182. (In Russ.)

Govyadin I.K., Karimov B.M. Certificate of state registration of a computer program No. 2023686447 Russian Federation. Accounting and analysis system: No. 2023686474: application. 12.05.2023: publ. 12.06.2023. (In Russ.)

Govyadin I.K., Chubinsky A.N., Alekseev A.S. Method for measuring tree diameters based on artificial intelligence technologies. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 177–194. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.177-194. (In Russ.)

Govyadin I.K., Karimov B.M., Sheremet V.A. Certificate of state registration of a computer program No. 2023612089 Russian Federation. Data visualization system: No. 2022668020: appl. 09.30.2022: publ. 01.30.2023. (In Russ.)

Lebedev A.V. Inventory of tree plantations in urban areas using a smartphone. *Forestry Journal*, 2023, T. 13, no. 3 (51), pp. 56–70. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/5. (In Russ.)

Liang J., Gadow K. Applications of Artificial Intelligence in Forest Research and Management. *Figshare. Journal Contribution*, 2023, pp. 42–45.

López-Serrano F.R., Rubio E., García Morote F.A., Manuela Andrés Abellán M., Picazo Córdoba M.I., García Saucedo F. Martínez García E., Sánchez García J.M., Serena Innerarity J., Lucas Carrasco L., García González O., García González J.C. Artificial intelligence-based software (AID-FOREST) for tree detection: A new framework for fast and accurate forest inventorying using LiDAR point clouds. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, vol. 113, art. no. 103014. DOI: 10.1016/j.jag.2022.103014.

Mishra R., Mishra D., Agarwal R. Artificial intelligence and machine learning applications in forestry. *Journal of Science Research International*, 2024, vol. 10, pp. 43–55. DOI: 10.5281/zenodo.14028208.

Montaño R.A.N.R., Sanquetta C.R., Wojciechowski J., Mattar E., Corte A.P.D., Todt E. Artificial Intelligence Models to Estimate Biomass of Tropical Forest Trees. *Polibits*, 2017, vol. 56, pp. 29–37.

Raihan A. Artificial intelligence and machine learning applications in forest management and biodiversity conservation. *Natural Resources Conservation and Research*, 2023, vol. 6, iss. 2, art. no. 3825. DOI: 10.24294/nrcr.v6i2.3825.

Sheng W., Li R., Li H., Ma X., Ji Q., Xu F., Fu H. An Automated Method For Stem Diameter Measurement Based on Laser Module and Deep Learning. *Plant methods*, 2023, vol. 19, art. no. 68. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2107489/v1.

Voitov D.Yu., Vasilyev S.B., Kormilitsyn D.V. Development of technology for determining tree species using computer vision. *Forestry Bulletin*, 2023, T. 27, no. 1, pp. 60–66. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-60-66.

*Материал поступил в редакцию 26.01.2025*

---

**Говядин И.К., Чубинский А.Н.** К вопросу о точности распознавания кривизны и высоты деревьев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 213–232. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.213-232

В статье рассматривается инновационный подход к оценке морфометрических параметров деревьев с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) и компьютерного зрения. Основное внимание уделяется разработке методики точного измерения таких характеристик, как высота дерева, диаметры у основания и вершины, кривизна ствола, объем и

площадь поверхности. Авторы подчеркивают, что традиционные методы измерений, основанные на визуальном осмотре и ручных замерах, обладают существенными погрешностями и требуют значительных трудозатрат, в то время как автоматизированные системы на базе ИИ позволяют получать более точные и воспроизводимые результаты. Для сбора данных использовались аэрофотосъемка с дронов и наземная фотосъемка, что обеспечило комплексное покрытие стволов деревьев под разными углами. Полученные изображения обрабатывались с применением алгоритмов компьютерного зрения, включая сверточные нейронные сети (CNN), а также методов трехмерного моделирования на основе облаков точек. Это позволило создать детализированные цифровые модели деревьев, пригодные для точного анализа их геометрических параметров. Результаты исследования продемонстрировали высокую точность предложенного метода: сравнение с ручными замерами показало минимальные расхождения. Кроме того, авторы провели корреляционный анализ, выявивший взаимосвязи между различными параметрами деревьев, что имеет важное значение для оценки качества древесины и планирования лесозаготовок. Разработанная методика открывает новые возможности для устойчивого управления лесными ресурсами, позволяя минимизировать негативное воздействие на экосистемы и оптимизировать процессы лесопользования. Применение ИИ в лесном хозяйстве способствует переходу к более точным и экологически безопасным методам работы, что особенно актуально в условиях растущего спроса на древесину и необходимости сохранения биоразнообразия.

Ключевые слова: искусственный интеллект, компьютерное зрение, машинное обучение, анализ деревьев, распознавание деревьев, алгоритмы ИИ.

**Govyadin I.K., Chubinsky A.N.** On the issue of accuracy of tree curvature and height recognition. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehničeskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 213–232 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.213-232

The article discusses an innovative approach to assessing tree morphometric parameters using artificial intelligence (AI) and computer vision technologies. The main focus is on the development of a methodology for accurately measuring such characteristics as tree height, base and top diameters, trunk curvature, volume, and surface area. The authors emphasize that traditional measurement methods based on visual inspection and manual measurements have significant errors and require significant labor costs, while automated AI-based systems provide more accurate and reproducible results. Aerial photography from drones and ground photography were used to collect data, which provided comprehensive coverage of tree trunks from different angles. The resulting images were processed using computer vision algorithms, including convolutional neural networks (CNN), as well as 3D modeling methods based on point clouds. This made it possible to create detailed digital models of trees suitable

for accurate analysis of their geometric parameters. The results of the study demonstrated the high accuracy of the proposed method: comparison with manual measurements showed minimal discrepancies. In addition, the authors conducted a correlation analysis that revealed the relationships between various tree parameters, which is important for assessing the quality of wood and planning logging. The developed methodology opens up new opportunities for sustainable forest management, allowing to minimize the negative impact on ecosystems and optimize forest management processes. The use of AI in forestry contributes to the transition to more accurate and environmentally friendly working methods, which is especially important in the context of growing demand for wood and the need to preserve biodiversity.

**Key words:** artificial intelligence, computer vision, machine learning, tree analysis, tree recognition, AI algorithms.

---

**ГОВЯДИН Илья Константинович** – доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. Researcher ID: AAF-5782-2019. ORCID: 0000-0002-0143-1916.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: govядin812@gmail.com

**GOVYADIN Ilya K.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Technology of Materials, Structures and Wood Constructions of the St.Petersburg State Forest Technical University. Researcher ID: AAF-5782-2019. ORCID: 0000-0002-0143-1916.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: govядin812@gmail.com

**ЧУБИНСКИЙ Анатолий Николаевич** – профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. Researcher ID: I-9432-2016. ORCID: 0000-0001-7914-8056.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com

**CHUBINSKY Anatoly N.** – DSc (Technical), Professor of the Department of Technology of Materials, Structures and Wood Constructions of the St.Petersburg State Forest Technical University. Researcher ID: I-9432-2016. ORCID: 0000-0001-7914-8056.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com

### **3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ**

---

УДК 621.365.5

**В.И. Мелехов, И.И. Соловьев, Н.Г. Пономарева, Е.В. Сазанова**

#### **СОЗДАНИЕ ПОЛЕЙ НОРМИРОВАННЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОТНЕ РАМНОЙ ПИЛЫ ТЕПЛОМЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

*Введение.* Лесопильные рамы применяют для продольной распиловки древесных сортиментов на деревообрабатывающих предприятиях. Эффективность работы станка определяется работоспособностью и эксплуатационной надежностью инструмента – рамной пилы, которая установлена с натяжением в пильной рамке.

В процессе работы рамная пила подвергается сложному воздействию силовых и температурных факторов, которые нужно учитывать при подготовке пилы к работе. Способность пилы противодействовать поперечным силам резания характеризуется её жесткостью и устойчивостью. Различают три вида жесткости: собственную жесткость ненатянутой пилы; начальную жесткость натянутой пилы при отсутствии действия на нее сил сопротивления резанию; рабочую жесткость пилы с учетом действующих на нее сил сопротивления резанию [Грубе, 1971; Прокофьев и др., 2001].

При решении вопроса распределения напряжений полотно рамной пилы принято рассматривать поделенным на среднюю часть, переднюю и заднюю кромки.

Для получения прямолинейного пропила необходимо обеспечить нормируемую устойчивость, рабочую жесткость полотна, характеризуемую величиной прогиба пилы в боковом направлении от действия поперечной силы, что достигается натяжением пилы в продольном направлении [Грубе, 1971].

Величина общей силы натяжения пилы ограничивается прочностью захватов рамки. На практике увеличивают напряжения натяжения кромок полотна за счет ослабления его средней части. Для этого полотно пилы подвергают механическому воздействию – вальцеванию в продольном направлении.

Рамную пилу помещают между роликами, создают определенное усилие прижатия к полотну пилы и прокатывают между роликами. Вальцевание проводят в средней части полотна на расстоянии 20–25 мм от задней кромки и линии впадин зубьев. Сначала вальцуется центральная полоса пилы, затем симметрично соседние участки. В зоне контакта роликов с полотном происходит деформация поверхностного слоя полотна, возникают напряжения растяжения, превышающие предел текучести материала полотна (стали), и образуется узкий след вальцевания в поверхностном слое полотна. За границами следа вальцевания деформации поверхностного слоя не происходит, и структура материала не изменяется. На границе следа вальцевания возникают напряжения сжатия в средней части полотна и растяжения в кромках.

При натяжении полотна в пильной рамке боковые кромки пилы имеют большие напряжения и жесткость, чем при необработанном полотне при той же силе натяжения. Жесткость провальцованного полотна увеличивается на 10–20% по сравнению с необработанным [Грубе, 1971].

Одновременно следует отметить, что глубина следа вальцевания на поверхности полотна – до 0,1 мм, поэтому напряжения растяжения при механическом создании следа образуются только в поверхностном слое полотна, не распространяясь на всю толщину пилы, и не обеспечивают формирования равномерного поля напряжений по сечению; вальцевание сопровождается изломом металла по вальцовочному следу, что снижает механическую прочность пилы [Стахийев, 1977; Якунин, Якунин, 2005].

В нашем случае предложен новый подход – формировать поля остаточных напряжений в полотне пилы тепловым воздействием, заключающимся в создании нормированных напряжений (здесь и далее «остаточные термопластические напряжения») в пильном полотне кратковременным (1–2 с) концентрированным тепловым воздействием по всему сечению продольно расположенных по полотну пилы участков (аналогично следу вальцевания) [Мелехов, Соловьев, 2017; Мелехов и др., 2020], что обеспечивает равномерное распределение напряжений по всему массиву обрабатываемых участков и однородность структуры полей напряжений в полотне.

*Цель работы.* Обоснование режимов подготовки рамной пилы концентрированным тепловым воздействием на локальные продольно расположенные участки полотна пилы. Задача – определить рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений в полотне, повышающих жесткость пилы.

*Методы исследования.* Рассматриваемая технология подготовки рамной пилы к работе основывается на тепловом способе [Боровиков, Орлов, 1974;

Мелехов и др., 2020] создания напряжений в полотне пилы импульсным индукционным нагревом локальных продольно расположенных полосовых участков. При нагревании массива полосовых участков образуются пригранично расположенные по зонам по полотну пилы нормально передней и задней кромкам пилы разнонаправленные тепловые напряжения  $\sigma_{\text{тем}}$ , превышающие предел текучести материала  $\sigma_{0,2}$  полотна. При этом в массиве полосового участка возникают вторичные термопластические остаточные деформации [Биргер, 1963], которые обеспечивают формирование в граничной зоне смежных участков полотна пилы остаточных термопластических напряжений  $\sigma_{\text{т.пл}}$  (рис. 1). Это обеспечивает формирование в полотне пилы полей нормированных остаточных напряжений, и проявляется автономный эффект сжатия средней части и натяжения задней и передней кромок полотна пилы, позволяющий обеспечить устойчивое состояние рамной пилы в пропиле при нормированной силе натяжения полотна рамной пилы между захватами.

Количественная оценка остаточных термопластических напряжений при нагревании массива полосового участка полотна пилы и изменении полей напряжений растяжения по границе смежных участков полотна пилы выполнена по математической модели, ранее рассмотренной в работе [Мелехов и др., 2020].

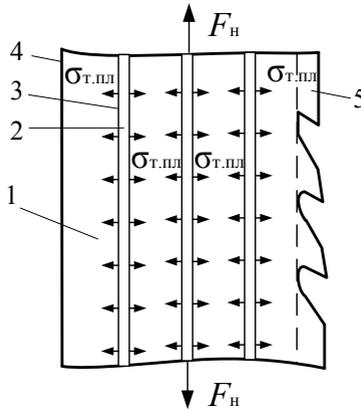


Рис. 1. Участок рамной пилы со следами термопластической обработки:

- 1 – полотно пилы; 2 – полосовой участок; 3 – граница участка;
- 4 – задняя кромка пилы; 5 – зубчатая кромка пилы;  $\sigma_{\text{т.пл}}$  – термопластические напряжения;  $F_H$  – сила натяжения полотна в пильной раме

Fig. 1. Section of a frame saw with traces of thermoplastic treatment:

- 1 – saw blade; 2 – strip section; 3 – section boundary; 4 – rear edge of the saw;
- 5 – serrated edge of the saw;  $\sigma_{\text{т.пл}}$  – thermoplastic stresses;  $F_H$  – tension force of the blade in the saw frame

Смоделирован процесс формирования остаточных термопластических напряжений  $\sigma_{т.пл}$  в полотне рамной пилы и их влияние на жесткость полотна. Материал пилы – сталь инструментальная легированная 9ХФ с механическими характеристиками (ГОСТ 5950–2000 «Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия»):

- модуль упругости,  $E = 196 \text{ ГПа}$ ;
- среднее значение коэффициента линейного расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ,  

$$\alpha(t) = 11 \times 10^{-6}; \quad (1)$$

- предел текучести,  $\sigma_{0,2}$ , определяется по зависимости предела текучести стали от температуры, МПа.

Тепловая обработка полосовых участков средней зоны полотна пилы производится локальным индукционным нагревом. В массиве полосового участка, нагретого до температуры  $t$ , образуются тепловые напряжения

$$\sigma_t(t) = E\alpha(t)t. \quad (2)$$

При этом на границе участка при нагреве его массива до температуры предела текучести и выше и последующем быстром охлаждении возникают нормальные к линии границы остаточные термопластические напряжения  $\sigma_{т.пл}$ . В результате в прилегающих к полосовому участку зонах зубчатой и задней кромок возникают напряжения растяжения, а в средней части полотна – напряжения сжатия. При этом в нагреваемых полосах твердость металла остается неизменной за счет быстрого охлаждения нагретых полосовых участков.

Зависимости величины тепловых напряжений  $\sigma_t(t)$  и предела текучести  $\sigma_{0,2}(t)$  стали 9ХФ приведены на рис. 2.

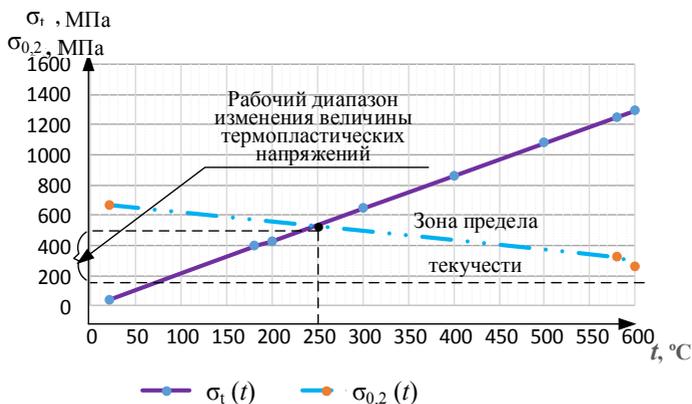


Рис. 2. Температурные напряжения и предел текучести стали 9ХФ в зависимости от температуры

Fig. 2. Temperature stresses and yield strength of 9HF steel depending on temperature

Из анализа зависимостей следует, что при  $t = 265 \text{ }^\circ\text{C}$  и выше (зона предела текучести (рис. 2)) тепловые напряжения  $\sigma_t$  превышают предел текучести  $\sigma_{0,2}$  для стали 9ХФ, что способствует формированию нормированных остаточных термопластических напряжений. Рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений  $\sigma_{т.пл}$  в полотне составляет от 230 до 550 МПа.

Для определения рабочей жесткости пилы, по которой оценивается точность пиления, необходимо знать ее начальную жесткость:

$$j_n = \frac{P}{w}, \quad (3)$$

где  $P$  – боковая сила, приложенная к режущей кромке пилы на середине ее свободной длины  $l$ ;  $w$  – отклонение (прогиб) пилы.

Из уравнения (3) следует, что для определения начальной жесткости полотна необходимо знать величину прогиба растянутой пилы под действием боковой силы. Для определения прогибов пилы предложена расчетная схема, представленная на рис. 3.

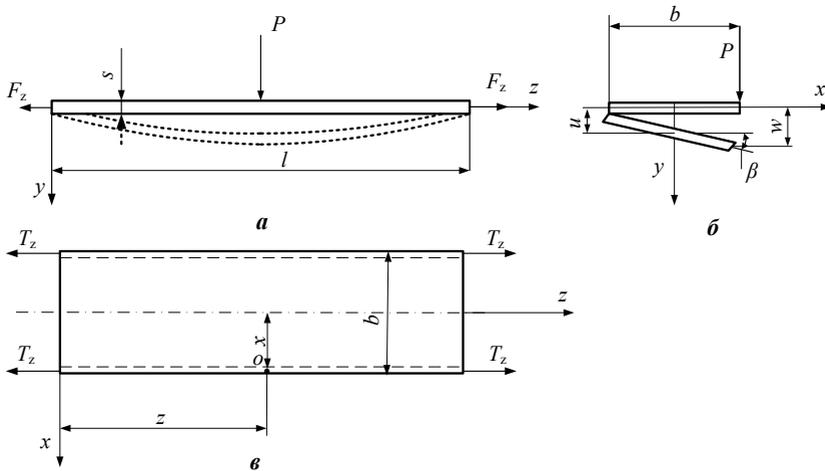


Рис. 3. Расчетная схема для определения прогибов пилы:  
а – вид сбоку; б – вид с торца; в – вид сверху

Fig. 3. Calculation scheme for determining saw deflections:  
а – side view; б – end view; в – top view

Обработанная тепловым способом пила толщиной  $s$  и шириной  $b$  натянута в рамке равномерно распределенной силой

$$Fz = F_H / b. \quad (4)$$

Для определения прогибов пилы воспользуемся энергетическим методом [Тимошенко, 1955].

Потенциальная энергия деформации пилы  $U$  складывается из потенциальных энергий растяжения  $U_p + U_{т.пл}$ , изгиба  $U_{и}$ , кручения  $U_{кр}$ . Уравнения для расчета приведены в [Прокофьев и др., 2001]:

$$U = U_p + U_{т.пл} + U_{и} + U_{кр}; \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{2} \int_0^l \int_{-b/2}^{b/2} \left[ (F_z + T_z) \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \partial x \partial z \right] + \frac{B}{2} \int_0^l \left( \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)^2 \partial z + \frac{C}{2} \int_0^l \left( \frac{\partial \beta}{\partial z} \right)^2 \partial z, \quad (6)$$

где  $T_z$  – нормальные усилия от термопластического воздействия, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы,  $T_z = \sigma_{т.пл}s(4x^2/b^2 - 1/3)$  [Тюрин, 2013], Н/мм:  $\sigma_{т.пл}$  – термопластические напряжения, Н/мм<sup>2</sup>;  $B = EJ_{и}$  – жесткость пилы при изгибе, Н/мм<sup>2</sup>;  $J_{и} = bs^3/12$  – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм<sup>4</sup>;  $E$  – модуль упругости материала пилы, МПа;  $C = GJ_{к}$  – жесткость пилы при кручении, Н×мм<sup>2</sup>;  $G$  – модуль сдвига материала пилы, МПа;  $J_{к} = bs^3/3$  – момент инерции сечения пилы при кручении, мм<sup>4</sup>;  $u$  – прогиб пилы при изгибе, мм;  $\beta$  – угол поворота сечения пилы при кручении, рад.

Учитывая, что деформация полотна пилы под действием боковой силы  $P$  складывается из прогиба  $u$  продольной оси пилы и угла поворота сечения пилы  $\beta$ , задаваясь приращениями  $du$  и  $d\beta$  [Прокофьев и др., 2001; Банников, 2007; Тюрин, 2013], получаем выражение для определения жесткости передней кромки полотна пилы:

$$j_n = \frac{h\pi^3 / 2l^2}{\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[ \frac{l^2 \left( \frac{F_H b^2}{12} + C + \frac{\sigma s b^3}{45} \right) + \frac{b^2}{4} (Bn^2 \pi^2 + F_H l^2)}{n^3 \left( \frac{F_H b^2}{12} Bn^2 \pi^2 + \frac{F_H^2 b^2 l^2}{12} \right) + \left( C + \frac{\sigma s b^3}{45} \right) (Bn^2 \pi^2 + F_H l^2)} \right]} \quad (7)$$

Приняты расчетные параметры:  $l = 1040$  мм;  $b = 180$  мм;  $s = 1,8$  мм;  $F_H = 8$  кН;  $E = 196$  ГПа;  $G = 8,1 \times 10^4$  Мпа. В обработанном тепловым воздействием полотне пилы  $\sigma_{т.пл} = 550$  Мпа.

Расчеты произведены с помощью математического пакета Mathcad 15.0 фирмы MathSoft, Inc. После подстановки в формулу (7) расчетных параметров с учетом первых двух членов ряда ( $n = 1, 3$ ) получили  $j_n = 12,8$  Н/мм; при  $\sigma_{т.пл} = 0, j_n = 6,2$  Н/мм.

В результате теплового воздействия на полотно жесткость передней кромки пилы увеличилась в 2,1 раза.

*Результаты исследования.* В работе определен рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений в полотне, повышающих жесткость пилы. Тепловое бесконтактное воздействие на полотно пилы исключает появление вмятин и других дефектов на полотне пилы, неизбежно возникающих при механическом воздействии на полотно при вальцевании.

Формирование термопластических напряжений позволяет при неизменных усилиях натяжения полотна пилы увеличить напряжения растяжения в передней и задней кромках полотна и повысить жесткость пилы.

*Вывод.* Новый подход к формированию нормированных остаточных напряжений в полотне рамной пилы кратковременным концентрированным тепловым воздействием на полосовые участки полотна позволяет сформировать поля остаточных термопластических напряжений, повысить поперечную жесткость полотна и устойчивость пилы в пропилах.

*Патенты:* Патент 2614863 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических концентрированных напряжений в полосовых пилах: № 2015141255: заявл. 28.09.2015; опубл. 29.03.2017 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Банников А.А. Повышение точности пиления древесины на делительных ленточнопильных станках: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: АГТУ, 2007. 20 с.

Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

Боровиков Е.М., Орлов Б.Ф. Термический способ подготовки круглых пил к работе // ИВУЗ. Лесной журнал. 1974. № 6. С. 90–96.

Грубе А.Э. Дереворежущие инструменты. 3-е изд. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 346 с.

Мелехов В.И., Соловьев И.И. Патент 2614863 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических концентрированных напряжений в полосовых пилах. Заявл. 28.09.2015; опубл. 29.03.2017. Бюл. №10.

Мелехов В.И., Соловьев И.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.Г. Повышение устойчивости дереворежущих пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 6. С. 172–181.

Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И., Дундин Н.И. Исследование начальной жесткости полосовых пил // ИВУЗ. Лесной журнал. 2001. № 3. С. 89–96.

Стахийев Ю.М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 296 с.

Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. 2-е изд. М.: Гостехиздат, 1955. 576 с.

Тюрин А.М. Определение основных эксплуатационных показателей лесопильного станка с полосовыми нерастянутыми пилами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск: С(А)ФУ, 2013. 20 с.

Якунин Н.К., Якунин И.Н. Подготовка к работе и эксплуатация ленточных пил. М.: Изд-во МГУЛ, 2005. 355 с.

### References

Bannikov A.A. Improving the accuracy of sawing wood on dividing band saw machines: author's abstract. Diss. ... Candidate of Technical Sciences. Arkhangelsk: ASTU, 2007. 20 p. (In Russ.)

Birger I.A. Residual stresses. Moscow: Mashgiz, 1963. 232 p. (In Russ.)

Borovikov E.M., Orlov B.F. Thermal method of preparing circular saws for work. *IVUZ. Forestry journal*, 1974, no. 6, pp. 90–96. (In Russ.)

Grube A.E. Wood-cutting tools. 3rd ed. Moscow: Lesn. prom-st, 1971. 346 p. (In Russ.)

Melekhov V.I., Soloviev I.I. Patent 2614863 RU. A device for creating of thermoplastic concentrated stresses in band saws. Appl. 28.09.2015, publ. 29.03.2017, bull. no. 10. (In Russ.)

Melekhov V.I., Soloviev I.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.G. Increasing the stability of wood-cutting saws by thermoplastic action on the distribution of residual stresses in the blade. *IVUZ. Forestry journal*, 2020, no. 6, pp. 172–181. (In Russ.)

Prokofiev G.F., Ivankin I.I., Dundin N.I. Study of the initial rigidity of band saws. *IVUZ. Forestry journal*, 2001, no. 3, pp. 89–96. (In Russ.)

Stakhiev Yu.M. Stability and vibrations of flat circular saws. Moscow: Lesn. prom-st, 1977. 296 p. (In Russ.)

Timoshenko S.P. Stability of elastic systems. 2nd ed. Moscow: Gostekhizdat, 1955. 576 p. (In Russ.)

Tyurin A.M. Determination of the main performance indicators of a sawmill with non-stretched strip saws: author's abstract. Diss. ... Candidate of Technical Sciences. Arkhangelsk: N(Ar)FU, 2013. 20 p. (In Russ.)

Yakunin N.K., Yakunin I.N. Preparation for work and operation of tape saws. Moscow: Publishing House of MGUL, 2005. 355 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 03.06.2023*

**Мелехов В.И., Соловьев И.И., Пономарева Н.Г., Сазанова Е.В.** Создание полей нормированных остаточных напряжений в полотне рамной пилы тепловым воздействием // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 233–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.233-243

Эффективность работы лесопильной рамы определяется работоспособностью и эксплуатационной надежностью инструмента – рамной пилы. При работе рамная пила подвергается сложному воздействию силовых и температурных факторов, которые необходимо учитывать при подготовке пилы к работе. Способность пилы противодействовать составляющим силы резания характеризуется её жесткостью и устойчивостью. Для получения прямолинейного пропила необходимо обеспечить нормируемую устойчивость, рабочую жесткость полотна. Это достигается продольным натяжением пилы. На практике увеличивают напряжения натяжения кромок полотна за счет ослабления его средней части. Для этого полотно пилы подвергают вальцеванию. Следует отметить, что вальцевание не обеспечивает формирование равномерного поля напряжений по поперечному сечению полотна, сопровождается изломом металла по вальцовочному следу, что снижает механическую прочность пилы. В статье рассмотрен новый подход – формирование полей остаточных напряжений в полотне пилы тепловым воздействием. Рассматриваемая технология подготовки рамной пилы к работе основывается на тепловом способе создания напряжений в полотне пилы импульсным индукционным нагревом локальных продольно расположенных полосовых участков без изломов по всему сечению. При нагревании в массиве полосового участка возникают вторичные термопластические остаточные деформации, которые обеспечивают формирование в граничной зоне смежных участков полотна пилы остаточных термопластических напряжений. Это обеспечивает формирование в полотне пилы полей нормированных остаточных напряжений, и проявляется автономный эффект сжатия средней части и натяжения задней и передней кромок полотна пилы, позволяющий обеспечить устойчивое состояние рамной пилы в пропилах при нормированной силе натяжения полотна рамной пилы между захватами. В работе дана количественная оценка остаточных термопластических напряжений. Определен рабочий диапазон изменения величины термопластических напряжений в полотне, повышающих жесткость пилы. Новый подход к формированию нормированных остаточных напряжений в полотне рамной пилы кратковременным концентрированным тепловым воздействием на полосовые участки полотна позволяет сформировать поля остаточных термопластических напряжений, повысить поперечную жесткость полотна и устойчивость пилы в пропилах.

**Ключевые слова:** рамная пила, остаточные термопластические напряжения, жесткость, устойчивость, кратковременное концентрированное тепловое воздействие.

**Melekhov V.I., Soloviev I.I., Ponomareva N.G., Sazanova E.V.** Creation of fields of normalized residual stresses in the blade of a frame saw by thermal influence. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 233–243 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.233-243

The efficiency of a saw frame is determined by the performance and operational reliability of the tool – a frame saw. During operation, a frame saw is exposed to complex effects of force and temperature factors, which must be taken into account when preparing the saw for operation. The ability of a saw to counteract the components of the cutting force is characterized by its rigidity and stability. To obtain a straight cut, it is necessary to ensure the standardized stability, the working rigidity of the blade. This is achieved by longitudinal tension of the saw. In practice, the tension stresses of the edges of the blade are increased by weakening its middle part. For this, the saw blade is subjected to rolling. It should be noted that rolling does not ensure the formation of a uniform stress field over the cross section of the blade, and is accompanied by a fracture of the metal along the rolling trace, which reduces the mechanical strength of the saw. The article discusses a new approach – to form residual stress fields in the saw blade by thermal action. The considered technology of preparing a frame saw for operation is based on the thermal method of creating stresses in the saw blade by pulsed induction heating of local longitudinally located strip sections without kinks along the entire cross-section. When heating, secondary thermoplastic residual deformations occur in the array of the strip section, which ensure the formation of residual thermoplastic stresses in the boundary zone of adjacent sections of the saw blade. This ensures the formation of normalized residual stress fields in the saw blade and an autonomous effect of compression of the middle part and tension of the rear and front edges of the saw blade appears, allowing to ensure a stable state of the frame saw in the cut with a normalized tension force of the frame saw blade between the grips. The paper provides a quantitative assessment of residual thermoplastic stresses. A new approach to the formation of normalized residual stresses in a frame saw blade by short-term concentrated thermal action on strip sections of the blade allows the formation of fields of residual thermoplastic stresses, increasing the transverse rigidity of the blade and the stability of the saw in the cut.

**Key words:** saw frame, normalized residual stresses, rigidity, stability, short-term concentrated thermal influence.

---

**МЕЛЕХОВ Владимир Иванович** – профессор Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, доктор технических наук, профессор. SPIN-код: 8611-8043. ORCID: 0000-0002-2583-3012.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: v.melekhov@narfu.ru

**MELEKHOV Vladimir I.** – DSc (Technical), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 8611-8043. ORCID: 0000-0002-2583-3012.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: v.melekhov@narfu.ru

**СОЛОВЬЕВ Иван Иванович** – доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат технических наук. SPIN-код: 1185-5829. ORCID: 0000-0002-2008-7073.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: i.solovev@narfu.ru

**SOLOVIEV Ivan I.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 1185-5829. ORCID: 0000-0002-2008-7073.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: i.solovev@narfu.ru

**ПОНОМАРЕВА Наталья Геннадьевна** – доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат технических наук. SPIN-код: 1809-4686. ORCID: 0000-0001-6210-5631.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: n.ponomareva@narfu.ru

**PONOMAREVA Natalia G.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 1809-4686. ORCID: 0000-0001-6210-5631.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: n.ponomareva@narfu.ru

**САЗАНОВА Екатерина Владимировна** – доцент Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат экономических наук. SPIN-код: 9851-5983.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: e.sazonova@narfu.ru

**SAZANOVA Ekaterina V.** – PhD (Economical), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov. SPIN-code: 9851-5983.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: e.sazonova@narfu.ru

**А.А. Богомолов, А.С. Сухов, М.М. Иготти, Е.И. Молодых,  
А.В. Андронов, Г.С. Тарадин, Т.В. Коваленко, Е.Г. Хитров**

## **МОДЕЛЬ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КОРЫ НА СНИМКЕ ПОПЕРЕЧНОГО РАСПИЛА ДЕРЕВА**

*Введение.* При переработке круглых лесоматериалов важно установить непосредственно объем древесины без коры: от этого будет зависеть выбор оптимальной схемы дальнейшей переработки. Ввиду сложной формы ствола дерева и вариативности его характеристик, определение объема сортимента без коры до ее механического удаления (окорки) является нетривиальной практической задачей. В существующей практике объем древесины без коры оценивают при помощи поправочных коэффициентов и таблиц с учетом породы дерева, сведений о регионе и условиях произрастания, среднего диаметра торцов сортимента в коре [Беляев, 2023]. По различным сведениям, объем коры может составлять 10 – 30% всего объема ствола дерева [Беляев, 2023; Kunicka et al., 2022]. Справочная информация во многих случаях неполна либо устарела, что отмечают специалисты в области лесного хозяйства и лесопереработки [Беляев, 2023]. Возможное уточнение справочных сведений связано со значительными затратами времени и труда, а обмер каждого сортимента вручную в производственных условиях технологически неприемлем.

Визуально кора различима на торцевых снимках бревен. При допущении, что отношение площади коры к общей площади торца на цифровом снимке позволяет определить доли объема сортимента, приходящиеся на кору и на древесину, с приемлемой точностью, можно предположить, что автоматизированные методы оценки, основанные на использовании инструментов компьютерного зрения, представляют практический интерес.

Современные инструменты компьютерного зрения и, в более широком плане, глубокого обучения внедряются в лесную промышленность и уже позволяют успешно решать ряд практических задач, связанных с определением характеристик предмета труда. Например, известны решения в области распознавания дефектов лесоматериалов [Han et al., 2023; Wang et al., 2024], таких как трещины и гниль, а также модели глубокого обучения,

позволяющие определить породу древесины по структурным особенностям коры на снимке [Robert et al., 2020; Kim et al., 2022]. Однако направленный поиск в профильных изданиях показал [Богомолов и др., 2024], что вопросы сегментации коры и определения ее доли на торцевом снимке ствола дерева до настоящего времени практически не проработаны [Богомолов и др., 2024]. На настоящем этапе исследований происходит накопление эмпирической базы, раскрывающей аспекты использования различных инструментов компьютерного зрения применительно к решению обозначенной задачи. Также формируются концептуальные требования к программным решениям, разрабатываемым для автоматизированной оценки доли коры.

Практика различных отраслей промышленности показывает, что информационные модели глубокого обучения, использующие искусственные нейронные сети (ИНС), способны решать широкий спектр задач, связанных с определением параметров предмета труда. При этом следует заметить, что, с учетом недостаточной изученности проблематики исследования, вопрос о целесообразности применения таких ресурсоемких и сложных по структуре инструментов, как ИНС, остается открытым. Помимо точности, имеет значение быстродействие программного решения с учетом материальной базы предприятия и, что еще более важно, – возможность имплементации информационных моделей в производственный процесс. Известные ИНС с открытым кодом, предназначенные для сегментации и классификации объектов на снимках, поставляются с бесплатной лицензией для использования в образовательных и исследовательских целях, но не предназначены для коммерческого использования. В связи с этим разработка оригинального решения, базирующегося на моделях глубокого обучения, является отдельным перспективным направлением исследований.

С учетом состояния проблематики определения коры на снимках, представляет интерес изучение более простых по структуре моделей и инструментов, использующих «классические» алгоритмы компьютерного зрения и обработки снимков, реализованные в библиотеках с открытым исходным кодом, таких как OpenCV. Экспериментальные сведения об их эффективности могут использоваться как при разработке программных решений для автоматизированной обработки снимков, так и для дальнейшей настройки моделей глубокого обучения.

Ранее были представлены и обсуждались алгоритм и программное решение, предназначенные для определения доли коры по торцевому снимку

[Богомолов и др., 2024]. Выполненная апробация показала, что инструменты библиотек компьютерного зрения OpenCV, использующие бинаризацию снимков по методу одинарного порога, принципиально справляются с задачами распознавания коры. Показано [Богомолов и др., 2024], что в дальнейшем целесообразно совершенствовать представленный алгоритм для уточнения получаемых результатов. Решение должно учитывать широкий спектр особенностей цифровых снимков: фон, различную освещенность, угол съемки, разрешение снимков, а также характеристики предмета труда – породу древесины, форму поперечного распила, физическое состояние сортиментов, возможное наличие дефектов.

*Целью работы* является уточнение алгоритма бинаризации цифровых снимков поперечного распила круглых лесоматериалов, выполняемой при автоматизированной оценке доли коры, и тестирование методики настройки его параметров с учетом различных характеристик снимка и объекта.

*Материалы и методы исследования.* Программная реализация разработанного алгоритма и вычисления выполнены на языке Python, основные используемые функции реализованы в библиотеке OpenCV. Алгоритм бинаризации снимков, используемый при оценке доли коры, использует метод одинарного порога. Настройки параметров метода выполнены для авторских снимков поперечных распилов круглых лесоматериалов.

Для получения экспериментальных данных произведена съемка поперечного распила круглых лесоматериалов с разных ракурсов. В выборку, предназначенную для тестирования предлагаемого алгоритма и программного решения, вошли 130 снимков торцов диаметром 20–30 см; породы древесины – береза, ель, ольха. Съемка выполнена в зимних условиях, на заснеженном фоне при естественном освещении в отсутствие прямых солнечных лучей. Для съемки использован широкоугольный объектив камеры мобильного телефона iPhone 13 с фокусным расстоянием 5,1 мм, диафрагмой  $f/1.6$  и автоматической выдержкой. Исходные снимки формата HEIC конвертированы в JPG (цветовое пространство RGB). Разрешение оригинальных снимков составляло 3024x4032 пикселей (72 dpi).

*Результаты исследования.* Изложим разработанный алгоритм, гипотетически учитывающий особенности фона, снимка и объекта – торцевого распила ствола дерева, и приведем основные результаты тестирования предлагаемого решения. Полностью результаты размещены в репозитории программы и доступны для ознакомления [Богомолов, 2025].

Процесс оценки доли коры на торцевом снимке поперечного распила подразделен на следующие этапы:

1. Определение контрольных пороговых значений параметров метода одинарного порога при работе алгоритма бинаризации снимка. Этап выполняется для снимка, предварительно обработанного в графическом редакторе с открытым исходным кодом; в настоящем исследовании использован редактор GIMP 2.10.38;

2. Предварительная обработка и подготовка снимков к детекции планов. Этап включает в себя следующие операции:

- уменьшение разрешения снимков;
- преобразование снимков в цветовых пространствах GRAY (оттенки серого) и HSV (Hue, Saturation, Value) (тон, насыщенность, значение) с последующим разделением каналов;
- определение уточненных пороговых значений параметров метода одинарного порога в алгоритме бинаризации снимков. Операция выполняется по гистограммам полученных предварительно обработанных изображений;

3. Первичная бинаризация снимка с использованием пороговых значений параметров метода одинарного порога, полученных на этапе 2; определение наибольшего контура с последующей отрисовкой на оригинале изображения. Наибольший контур используется для сегментации торца на снимке, отделяется объект от фона;

4. Вторичная бинаризация снимка с использованием пороговых значений метода одинарного порога, полученных на этапе 3; выделение наибольшего контура с последующей отрисовкой на оригинале изображения. Наибольший контур отделяет область объекта, изображающую древесину;

5. Вычисление соотношения площадей фигур, ограниченных полученными контурами, друг к другу; оценка доли снимка торца, приходящейся на кору;

6. Визуализация полученных результатов.

Опишем этапы подробнее и приведем примеры результатов работы разработанного программного решения. Проиллюстрируем результаты эксперимента на примере трех снимков (рис. 1) с различными визуально определяемыми характеристиками (диаметром, объемом коры и частично обделенной поверхностью).

На этапе 1 для получения контрольных пороговых значений параметров метода бинаризации снимка выполняется обработка изображения в графическом редакторе GIMP; пример результатов обработки экспериментального снимка представлен на рис. 2.

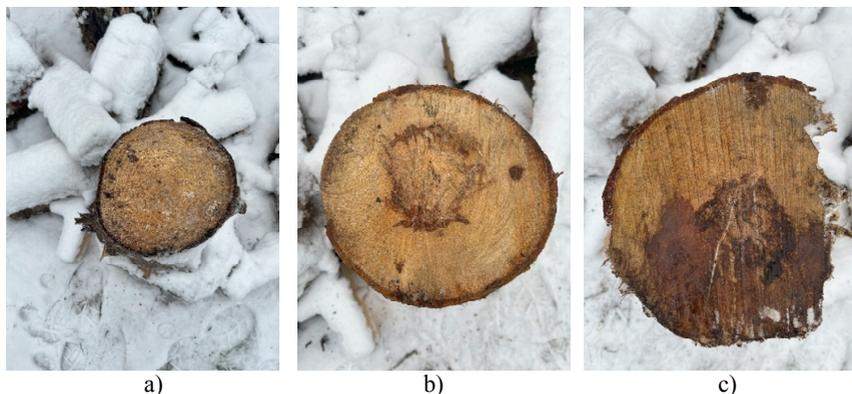


Рис. 1. Снимки распилов, использованные для иллюстрации результатов эксперимента: а) снимок №1 (неровный контур, фон доминирует на снимке); б) снимок №2 (относительно ровный контур); в) снимок №3 (частично обледенелая поверхность, неровный контур)

Fig. 1. Photos of the cuts used to illustrate the experiment results:  
a) image №1 (uneven contour, background dominates the photo); b) image №2 (relatively smooth contour); c) image №3 (partially icy surface, uneven contour)

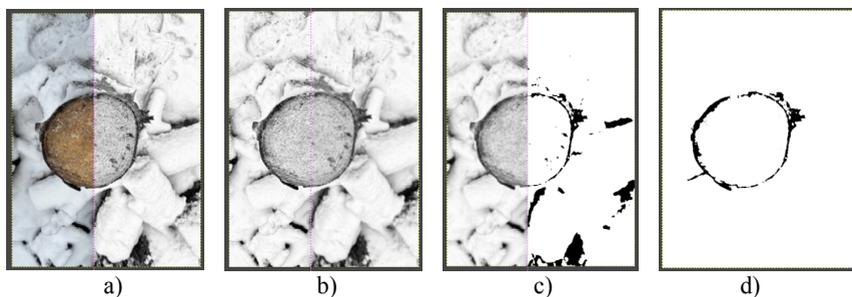


Рис. 2. Последовательность обработки изображения в графическом редакторе GIMP (снимок №1): а) конвертация снимка в градации серого; б) размытие изображения с использованием фильтра Гаусса (5x5); в) бинаризация снимка по пороговому значению; г) выделение наибольшего контура

Fig. 2. Sequence of image processing in GIMP graphics editor (image №1): a) converting the photo to grayscale; b) blurring the image using Gaussian filter (5x5); c) binarizing the photo using threshold value; d) selecting the longest contour

На этапе 2 при оценке пороговых значений для каждого снимка учитывается EXIF информация о снимке (метаданные) (глубина цвета, выдержка, светочувствительность, уровень яркости, экспокоррекция), а также контрольные пороговые значения (этап 1).

При предварительной обработке снимков выполнена оценка возможности снижения времени обработки снимков за счет уменьшения их разрешения. Эксперименты выполнены для трех вариантов разрешения снимков: оригинальное (3024×4032 pcs), уменьшенное в 4 раза (756×1008 pcs), уменьшенное в 8 раз (378×504 pcs). Замеренное время обработки каждого снимка указано в табл. 1.

Таблица 1

**Время обработки снимков в зависимости от их разрешения, с**  
**Time of image processing depending on their resolution, s**

Разрешение	Снимок №1	Снимок №2	Снимок №3
1:1 (оригинал), 3024×4032 pcs	0,251	0,231	0,253
1:4, 756×1008 pcs	0,018	0,016	0,017
1:8, 378×504 pcs	0,005	0,006	0,005

Полученные результаты позволяют предположить, что в перспективе оптимальным разрешением обрабатываемого снимка является 756×1008 (1:4), что позволит ускорить процесс обработки снимка в 13–15 раз без существенной потери качества изображения (визуальная экспертная оценка). Вопрос потребует отдельной проработки, на настоящем этапе исследований следует учесть соотношение времени обработки снимка предлагаемым алгоритмом, замеренное экспериментально.

Для последующих шагов оригинальное изображение конвертируется в цветовое пространство (ЦП) HSV (Hue, Saturation, Value). В цветовом пространстве выделяется канал Saturation (насыщенность), выбор основан на результатах апробации алгоритма [Богомолов и др., 2024].

Метаданные для снимков, используемые при расчете пороговых значений, приведены в табл. 2. На основании полученных данных возможно произвести расчет корректирующих коэффициентов для более точной оценки пороговых значений, используемых при бинаризации снимков. Значения числа экспозиции по каждому из снимков, приведенные в табл. 2, вычислены по формуле:

$$EV = \log_2 \left( L \cdot \frac{S}{K} \right), \quad (1)$$

где  $L$  – уровень яркости снимка,  $S$  – светочувствительность (ISO),  $K$  – экспонетрическая постоянная (при настройке экспонетрическая постоянная равна 1, так как во время съемки не производилась ручная регулировка экспозиции).

Таблица 2

**Метаданные примеров снимков и результаты определения числа экспозиции для снимков**

**Metadata of the sample images and results of exposure value calculation**

Показатель	Снимок №1	Снимок №2	Снимок №3
Скорость затвора, с	7,185	6,924	6,924
Выдержка, с	0,0068	0,0082	0,082
Светочувствительность, $S$	32	40	64
Уровень яркости снимка, $B$	5,754	5,368	4,520
Число экспозиции, $EV$	7,525	7,741	8,176

По полученным данным определяются значения соответственно верхнего и нижнего порога для автоматизированной бинаризации снимка и дальнейшего обнаружения на нем контуров. Используются следующие зависимости, установленные эвристическим путем:

$$T_{\text{upper}} = \frac{L_{\text{max}}}{2}, \quad (2)$$

где  $L_{\text{max}}$  – максимальное значение яркости пикселя ( $0 \leq L_{\text{max}} \leq 255$ ),

$$T_{\text{lower}} = \frac{EV - B}{2}. \quad (3)$$

Входные параметры пороговых значений, рассчитанные по максимальной яркости пикселя на снимках (канал Saturation), приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты расчета входных параметров пороговых значений для бинаризации**

**Results of calculation of the input parameters of threshold values for the images binarization**

Параметр	Снимок №1	Снимок №2	Снимок №3
$L_{\text{max}}$	243	246	247
$T_{\text{upper}}$	121,5	123	123,5
$T_{\text{lower}}$	0,9	1,2	1,8

На этапе 3 полученные параметры используются для первичной бинаризации снимка. Бинаризация производится инструментами библиотеки OpenCV, а именно ее функцией *threshold*. Перед входом в функцию изображение по умолчанию размывается стандартным инструментом OpenCV *blur*, реализующим фильтр Гаусса с размером ядра  $5 \times 5$ . Наибольший обнаруженный контур наносится на исходное изображение (пример приведен на рис. 3а), что дает оценку площади распила в коре. В качестве порогового значения метода одинарного порога используется значение  $T_{upper}$  (табл. 3).

Вторичная бинаризация, выполняемая на этапе 4, и обнаружение наибольшего контура выполняются аналогично предыдущему шагу, но с тем отличием, что на вход в функцию *threshold* подается обработанное изображение, ограниченное контуром, полученным при первичной бинаризации. В качестве порогового значения используется значение  $T_{lower}$  (табл. 3). Пример результатов работы программы представлен на рис. 3б.

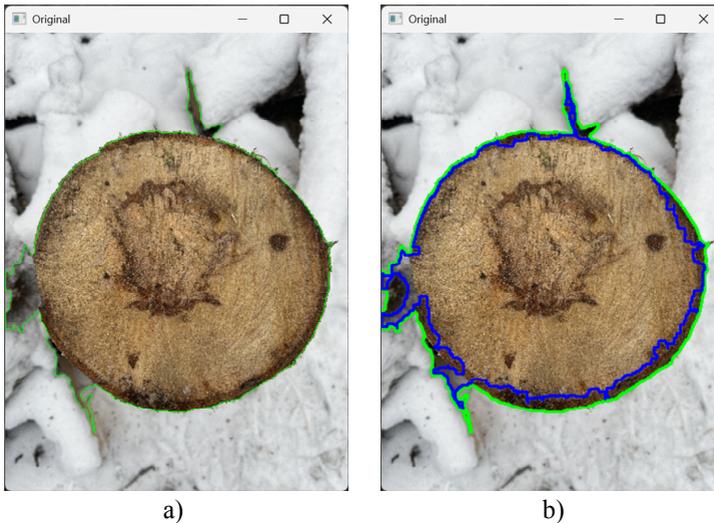


Рис. 3. Пример результатов работы программы (снимок №2):  
 а) результат выполнения первичной бинаризации;  
 б) результат выполнения вторичной бинаризации

Fig. 3. Program results for the sample image (image №2):  
 a) result of primary binarization; b) result of secondary binarization

Несмотря на то, что модель ошибочно определила торец другого объекта в верхней части снимка, как контур «целевого» объекта, контуры, полученные на этапах 3 и 4, для этой области снимка близки, что связано с результатами настройки пороговых значений параметров при определении наибольших контуров.

Основные результаты работы программного решения – пример результатов расчетов, выполненных на этапе 5, – представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Основные результаты работы программного решения**

**Main results of the program solution for the sample images**

Показатель	Снимок №1	Снимок №2	Снимок №3
Время выполнения, с	0,008	0,007	0,008
Площадь торца, pcs	34775	82559	97100
Площадь коры, pcs	4887	10508	8185
Оценка доли коры, %	14,05	12,73	8,43

Пример визуализации результатов работы программного решения, выполняемой на этапе 6, представлен на рис. 4.

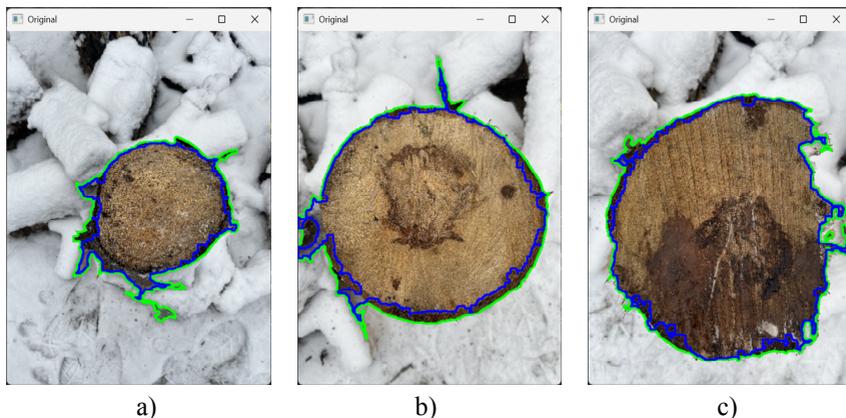


Рис. 4. Пример визуализации результатов работы программного решения: а) снимок №1 (неровный контур, фон доминирует на снимке); б) снимок №2 (относительно ровный контур); в) снимок №3 (частично обледенелая поверхность, неровный контур)

Fig. 4. An example of visualization of the results of the program solution: а) image №1 (uneven contour, background dominates the image); б) image №2 (relatively smooth contour); в) image №3 (partially icy surface, uneven contour)

Визуально можем заключить, что алгоритм и программное решение позволяют удовлетворительно выполнить оценку площади снимка, представленной корой. Результаты обработки всех снимков, полученных в ходе экспериментальной съемки, доступны в репозитории программы [Богомолов, 2025]. Разработанное программное решение находится на стадии государственной регистрации и доступно для ознакомления.

*Заключение.* В результате проведенных исследований предложен уточненный алгоритм бинаризации цифровых снимков поперечного распила круглых лесоматериалов, выполняемой при автоматизированной оценке доли коры.

Алгоритм включает в себя настройку параметров метода бинаризации по одинарному порогу на основе информации о светочувствительности, уровне яркости снимка и числе экспозиции; обращение к методу выполняется дважды. Приведены эвристические зависимости для определения пороговых значений параметров метода для двух его итераций, выполняемых последовательно при отделении объекта от фона и дальнейшей сегментации коры на снимке. Приведены примеры результатов определения доли коры на снимках с неровным контуром и доминирующим фоном, с относительно ровным контуром поперечного распила на снимке, а также с частично обледеленой поверхностью распила с неровным контуром.

Возможная имплементация в технологический процесс, безусловно, требует экспериментальной верификации результатов оценки, получаемых с помощью разрабатываемого программного решения. Тем не менее, тестирование методики настройки параметров и алгоритма с учетом различных характеристик снимка и объекта на нем показало, что решение позволяет получить удовлетворительные результаты.

Выбор языка программирования, стека методов и библиотеки OpenCV для разработки связан с проведением дальнейших экспериментов с информационной моделью. Средства высокого уровня языка Python позволяют сравнительно быстро подготовить экспериментальный стенд и организовать эксперимент по настройке параметров модели. Полученные результаты далее будут учтены при разработке рабочей версии программного решения. Открытый исходный код и использование классических алгоритмов обработки изображений обеспечивают возможность подготовить код программы на языке C с идеей получить решение, отличающееся более высокой производительностью по сравнению с прототипом на языке Python, с уже известными диапазонами рекомендуемых значений управляемых параметров.

*Вклад авторов.* Богомолов А.А.: разработка информационной модели, настройка и реализация алгоритмов распознавания (45%); Сухов А.С.: реализация алгоритмов распознавания (5%); Иготти М.М.: реализация алгоритмов распознавания (20%); Молодых Е.И.: сбор и обработка экспериментальных данных (10%); Андронов А.В.: реализация алгоритмов распознавания (5%); Тарадин Г.С.: обработка экспериментальных данных (5%); Коваленко Т.В.: обработка экспериментальных данных (5%); Хитров Е.Г.: общее руководство работой (5%).

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Беляев Н.Л.* Повышение точности цифрового учёта круглых лесоматериалов: дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2023. 163 с.

*Богомолов А.А., Сухов А.С., Трубников А.В., Хитров Е.Г.* Инструменты библиотеки OpenCV для выявления коры на торцевом снимке поперечного распила дерева // Современное программирование: матер. Междунар. науч.-практич. конф. Нижневартовск, 2024. С. 412–416.

*Богомолов А.А.* Репозиторий программы для автоматического определения доли коры на цифровом снимке торца поперечного распила ствола дерева. 2025. URL: <https://clck.ru/3LreKK>

*Han S., Jiang X., Wu Z.* An Improved YOLOv5 Algorithm for Wood Defect Detection Based on Attention // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 71800–71810. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3293864.

*Kim T.K., Hong J., Ryu D., Kim S., Byeon S.Y., Huh W., Kim K., Baek G.H., Kim H.S.* Identifying and extracting bark key features of 42 tree species using convolutional neural networks and class activation mapping // Sci Rep. 2022. Vol. 12. Art. no. 4772. DOI: 10.1038/s41598-022-08571-9.

*Kunickaya O., Pomiguyev A., Kruchinin I., Storodubtseva T., Voronova A., Levushkin D., Borisov V., Ivanov V.* Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals // Central European Forestry Journal. 2022. Vol. 68(1). P. 51–59.

*Robert M., Dallaire P., Giguère Ph.* Tree bark re-identification using a deep-learning feature descriptor // 17th Conference on Computer and Robot Vision (CRV). 2020. P. 25–32. DOI: 10.1109/CRV50864.2020.00012.

*Wang R., Chen Y., Liang F., Wang B., Mou X., Zhang G.* BPN-YOLO: A Novel Method for Wood Defect Detection Based on YOLOv7 // Forests. 2024. Vol. 15, iss. 7. Art. no. 1096. DOI: 10.3390/f15071096.

### **References**

*Beliaev N.L.* Povyshenie tochnosti tsifrovogo ucheta kruglykh lesomaterialov: Diss. ... Candidate of Technical Sciences. Petrozavodsk: PetrSU, 2023. 163 p. (In Russ.)

Bogomolov A.A., Sukhov A.S., Trubnikov A.V., Khitrov E.G. Instrumenty biblioteki OpenCV dlia vyivleniia kory na tortsevom snimke poperechnogo raspila dereva. *Sovremennoe programmirovaniie: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii Nizhnevartovsk*, 2024, pp. 412–416. (In Russ.)

Bogomolov A.A. Repozitorii programmy dlia avtomaticheskogo opredeleniia doli kory na tsifrovom snimke tortsa poperechnogo raspila stvola dereva, 2025. URL: <https://clck.ru/3LreKK> (In Russ.)

Han S., Jiang X., Wu Z. An Improved YOLOv5 Algorithm for Wood Defect Detection Based on Attention. *IEEE Access*, 2023, vol. 11, pp. 71800–71810. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3293864.

Kim T.K., Hong J., Ryu D., Kim S., Byeon S.Y., Huh W., Kim K., Baek G.H., Kim H.S. Identifying and extracting bark key features of 42 tree species using convolutional neural networks and class activation mapping. *Sci Rep*, 2022, vol. 12, art. no. 4772. DOI: 10.1038/s41598-022-08571-9.

Kunickaya O., Pomiguyev A., Kruchinin I., Storodubtseva T., Voronova A., Levushkin D., Borisov V., Ivanov V. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals. *Central European Forestry Journal*, 2022, vol. 68(1), pp. 51–59.

Robert M., Dallaire P., Giguère Ph. Tree bark re-identification using a deep-learning feature descriptor. *17th Conference on Computer and Robot Vision (CRV)*. 2020, pp. 25–32. DOI: 10.1109/CRV50864.2020.00012.

Wang R., Chen Y., Liang F., Wang B., Mou X., Zhang G. BPN-YOLO: A Novel Method for Wood Defect Detection Based on YOLOv7. *Forests*, 2024, vol. 15, iss. 7, art. no. 1096. DOI: 10.3390/f15071096.

Материал поступил в редакцию 20.03.2024

**Богомолов А.А., Сухов А.С., Иготти М.М., Молодых Е.И., Андронов А.В., Тарадин Г.С., Коваленко Т.В., Хитров Е.Г.** Модель компьютерного зрения для распознавания коры на снимке поперечного распила дерева // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 244–259. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.244-259

Целью работы является уточнение алгоритма бинаризации цифровых снимков поперечного распила круглых лесоматериалов для автоматизированной оценки доли коры, а также тестирование методики настройки его параметров. Программная реализация уточненного алгоритма и вычисления выполнены на языке Python, основные используемые функции реализованы в библиотеке OpenCV. Алгоритм бинаризации снимков, используемый при оценке доли коры, использует метод бинаризации по одинарному порогу. Настройки параметров метода выполнены для авторских снимков поперечных распилов круглых лесоматериалов. Для получения

экспериментальных данных произведена съемка поперечного распила круглых лесоматериалов с различных ракурсов. В выборку, предназначенную для тестирования предлагаемого алгоритма и программного решения, вошли 130 снимков торцов диаметром 20 – 30 см; породы древесины – береза, ель, ольха. Съемка выполнена в зимних условиях, на заснеженном фоне при естественном освещении в отсутствие прямых солнечных лучей. Разрешение оригинальных снимков составляло 3024x4032 пикселей (72 dpi). Предложен алгоритм, который включает в себя настройку параметров метода бинаризации по одинарному порогу на основе информации о светочувствительности, уровне яркости снимка и числе экспозиции; обращение к методу выполняется дважды. Приведены эвристические зависимости для определения пороговых значений параметров метода для двух его итераций, выполняемых последовательно при отделении объекта от фона и дальнейшей сегментации коры на снимке. Приведены примеры результатов определения доли коры на снимках с неровным контуром и доминирующим фоном, с относительно ровным контуром поперечного распила на снимке, а также с частично обледенелой поверхностью распила с неровным контуром, и ссылка на репозиторий с экспериментальными снимками и программным решением, реализующим предлагаемый алгоритм. Тестирование методики настройки параметров и алгоритма с учетом различных характеристик снимка и объекта на нем показало, что решение позволяет получить удовлетворительные результаты.

Ключевые слова: библиотека OpenCV, метод одинарного порога, число экспозиции, сегментация изображения.

**Bogomolov A.A., Sukhov A.S., Igotti M.M., Molodykh E.I., Andronov A.V., Taradin G.S., Kovalenko T.V., Khitrov E.G.** Computer vision model for recognizing bark in a digital image of a tree cross-cut. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 244–259 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.244-259

The aim of the study is refining the algorithm for binarization of digital images of cross-cut round timber for automated assessment of the bark ratio, as well as testing methodology for adjusting its parameters. The program implementation of the refined algorithm and calculations are performed in Python, the main functions used are implemented in the OpenCV library. The image binarization algorithm used to assess the bark ratio bases on the single threshold method. The method parameter settings are made for the author's images of cross-cut round timber. To obtain experimental data, cross-cut round timber was photographed from different angles. The sample intended for testing the proposed algorithm and software solution included 130 images of cross-cut timber with a diameter of 20–30 cm; wood species – birch, spruce, alder. The photographing was performed in winter conditions, on a snow-covered background

under natural light in the absence of direct sunlight. The resolution of the original images was 3024x4032 pixels (72 dpi). The algorithm proposed includes adjustment of the parameters of the single threshold binarization method basing on information about the photosensitivity, the brightness level of the image, and the exposure value; the method is called twice during the image processing. Heuristic dependencies are given for determining the threshold values of the single threshold method parameters for its two iterations performed sequentially when separating an object from the background and further segmenting the bark in the image. Examples of the results of determining the ratio of bark in images with an uneven contour and a dominant background, with a relatively smooth contour of a cross-cut in the image, as well as with a partially icy surface of a cut with an uneven contour, as well as a link to a repository with experimental images and the program solution implementing the proposed algorithm are given. Testing the method for adjusting the parameters and the algorithm taking into account various characteristics of the image and the object in it showed that the solution allows obtaining satisfactory results.

**Key words:** OpenCV library, single threshold method, exposure value, image segmentation.

---

**БОГОМОЛОВ Александр Алексеевич** – учебный мастер кафедры автоматизации, метрологии и управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: setalx@mail.ru

**BOGOMOLOV Aleksandr A.** – engineer of the Department of Automation, Metrology and Management in Technical Systems of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: setalx@mail.ru

**СУХОВ Артем Сергеевич** – магистрант научно-образовательного центра математики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО». ORCID: 0009-0002-2674-3884.

197101, Кронверкский пр., д. 49, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sukhovtema@gmail.com

**SUKHOV Artem S.** – Master's student of the Scientific and Educational Center of Mathematics of the National Research University ITMO. ORCID: 0009-0002-2674-3884.

197101. Kronverkskii av. 49. St. Petersburg. Russia. E-mail: sukhovtema@gmail.com

**ИГОТТИ Марта Михайловна** – аспирант кафедры автоматизации, метрологии и управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: m.igotti@mail.ru

**IGOTTI Marta M.** – PhD student of the Department of Automation, Metrology and Management in Technical Systems of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: m.igotti@mail.ru

**МОЛОДЫХ Елизавета Игоревна** – аспирант кафедры автоматизации, метрологии и управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mmu49@mail.ru

**MOLODYKH Elizaveta I.** – PhD student of the Department of Automation, Metrology and Management in Technical Systems of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: mmu49@mail.ru

**АНДРОНОВ Александр Вячеславович** – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 8345-3722. ORCID: 0000-0002-1035-9231.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: andronovalexandr@gmail.com.

**ANDRONOV Aleksandr V.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Forestry Machinery, Service and Repair of St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8345-3722. ORCID: 0000-0002-1035-9231.

194021. Institutskiy per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: andronovalexandr@gmail.com

**ТАРАДИН Григорий Сергеевич** – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 5247-6595.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: grisha190@mail.ru

**TARADIN Grigory S.** – PhD (Technical), Associate Professor of Forestry engineering, service and repair department, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 5247-6595.

194021, Institutskiy per. 5, Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: grisha190@mail.ru

**КОВАЛЕНКО Тарас Викторович** – доцент кафедры промышленного транспорта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 2565-3233. SCOPUS AuthorID: 211015.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kovalenko.stl.spbftu@yandex.ru

**KOVALENKO Taras V.** – PhD (Technical), Associate Professor of Industrial Transport Department, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 2565-3233. SCOPUS AuthorID: 211015.

194021, Institutskiy per. 5, Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: kovalenko.stl.spbftu@yandex.ru

**ХИТРОВ Егор Германович** – доцент Высшей школы программной инженерии Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, доктор технических наук. SPIN-код: 4663-5944. ORCID: 0000-0003-4569-9508.

195251, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: hitrov\_eg@spbstu.ru

**KHITROV Egor G.** – DSc (Technical), Associate Professor of the Higher School of Software Engineering of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. SPIN-code: 4663-5944. ORCID: 0000-0003-4569-9508.

195251, Politekhnikeskaya str. 29, St. Petersburg. Russia. E-mail: hitrov\_eg@spbstu.ru

## 4. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ

---

УДК 543.429.23:665.944.54

Е.Д. Скаковский, Л.Ю. Тычинская, Е.Г. Попов, Е.И. Гапанькова,  
О.А. Молчанова, С.Е. Богусевич, Р.И. Караневский, В.И. Торчик

### ЯМР-АНАЛИЗ СОСТАВА ЖИВИЦЫ КЕДРОВЫХ СОСЕН

*Введение.* Как известно, одной из хозяйственно ценных групп хвойных растений являются так называемые 5-хвойные кедровые сосны (род *Pinus*, секция *Cembrae*): сосна кедровая корейская (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), сосна кедровая стланиковая (*Pinus pumila* (Pall.) Regel; кедровый стланик), а также кедровые сосны европейская (*P. cembra* L.) и сибирская (*P. sibirica* Du Tour) [Деревья..., 1949; Шкутко, 1991; Попов, Олешук, 2016; Олешук и др., 2021]. Это вечнозелёные древесные растения, успешно переносящие снижение температуры в диапазоне от  $-35^{\circ}\text{C}$  до  $-45^{\circ}\text{C}$ . Сосна кедровая корейская достигает высоты  $45\pm 5$  м и диаметра ствола  $\leq 2,0$  м; кедровый стланик – сильно ветвистый крупный кустарник высотой  $\leq 5$  м с толщиной ствола до 12 см (у шейки корня); кедровые сосны: европейская – дерево  $\leq 25$  м высотой и диаметром ствола  $\leq 1,5$  м; сибирская –  $\leq 50$  м и диаметром ствола  $\leq 1,8$  м. Хвоя у сосны кедровой сибирской с тремя смоляными каналами (вместо двух у европейской), ствол массивнее, шишки крупнее, скорость роста быстрее. Тем не менее, исследования доказали [Олешук и др., 2021; Rellstab et al., 2019], что кедровые сосны европейская и сибирская – расы одного вида *P. cembra*, могут скрещиваться между собой (при этом дают плодовитое потомство) и генетически почти идентичны.

Вид *P. cembra* долговечен: в благоприятных условиях его продолжительность жизни варьируется в пределах от 500 до 1000 лет; ареал *P. cembra* занимает всю Евразию, а разрывы в нём вызваны периодами оледенений и последующим затоплением поверхности обитания после потеплений (зонами выживания вида стали горные рефугиумы Альп, Татр, Карпат, Саян и Алтая) [Олешук и др., 2021].

Сосна кедровая корейская (*P. koraiensis*) менее распространена. Её природным ареалом являются Приморский и Хабаровский край, юго-

восток Амурской области, северо-восток Китая, Корея и Япония. Она также долговечна: продолжительность её жизни колеблется от 400 до 500 лет.

Кедровый стланик (*P. pumila*) распространён широко: его ареал охватывает Восточную Сибирь (включая всё её Тихоокеанское побережье, Курилы и Сахалин, а также Камчатку, горы Сихотэ-Алинь), северо-восток Монголии и Китая, северную Японию и Корею. Он встречается по горным цепям, выше границы леса, где образует непрерывные густые заросли. Растёт *P. pumila* медленно; возраст отдельных экземпляров доходит до 850 лет, однако средняя продолжительность жизни составляет примерно 250 лет.

Древесина кедровых сосен светло-жёлтая, часто с розоватым оттенком, более устойчива к гнили, чем древесина лиственных пород, лёгкая и прочная, с приятным запахом, содержит сравнительно немного смолы, применяется в жилищном строительстве, производстве фанеры, карандашей, мебели, резных и токарных изделий (в т. ч. декоративных), для обшивки помещений, а также в изготовлении музыкальных инструментов.

Высоко ценятся сосны секции *Sembrae* подрода *Strobus* за их неопцеваемую роль в поддержании устойчивости существующих природных экологических систем, как источник кедровых орехов, живицы и хвои – продуктов пищевого, медицинского и химико-технического назначения [Попов и др., 2011; Попов, Олешук, 2016; Олешук и др., 2021].

Для представления о компонентном составе живицы сосны кедровой сибирской в сравнении с живицами сосен кедровых европейской и корейской и кедрового стланика следует обратиться к монографии [Пентегова и др., 1987]. В ней представлена информация по количественному содержанию смоляных кислот (СК), нейтральных дитерпеноидов, моно- и сескви-терпеновых углеводов.

Следует отметить, что живица кедровых сосен отличается по составу от живицы дву- и трёххвойных сосен в т. ч. наличием заметных количеств ламбертиановой кислоты [Олешук и др., 2021; Скаковский и др., 2021], которая, как установлено, обладает позитивной нейротропной активностью [Толстикова и др., 2000; Толстикова и др., 2002a]. Амид ламбертиановой кислоты проявляет анальгетическое и тонизирующее действие [Толстикова и др., 2002b]. Синтезированы производные ламбертиановой кислоты, оказывающие антиоксидантный, гепатопротекторный, гемостимулирующий и ноотропный эффекты [Попов и др., 2011; Запара и др., 2014]. Это свидетельствует об актуальной востребованности живицы для получения фармпрепаратов.

Химический состав живицы кедровых сосен анализировался различными исследователями. С целью установления компонентов живицы сосны кедровой европейской в работе [Ралдугин и др., 1976a] предложена

схема ее группового разделения. Для этого живицу предварительно разделяли на кислотную и нейтральную части. Кислотная часть метилировалась диазометаном и исследовалась методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ), а нейтральная часть разделялась хроматографически и также анализировалась ГЖХ. Выделенные соединения исследовались также методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Было идентифицировано 11 монотерпенов, 15 сесквитерпенов, 2 дитерпена, в том числе обнаружен метиловый эфир тимола. Среди монотерпенов преобладали  $\alpha$ -пинен и  $\Delta^3$ -карен. В группе сесквитерпенов главными компонентами были сибирен, кариофиллен и  $\alpha$ -муролен, а наибольшее количество среди дитерпенов занимали цембрен и изопимара-7,15-диен. Было установлено наличие альдегидов и метиловых эфиров СК. Из спиртов присутствовали изоцемброл и 4-эпиизоцемброл. Среди СК идентифицировали:  $\Delta^{8,9}$ -изопимаровую, сандаракопимаровую, левопимаровую, палюстровую, изопимаровую, дегидроабиетиновую, абиетиновую, ламбертиановую и неоабиетиновую. В смеси отсутствовала пимаровая кислота, а максимальное количество составляли ламбертиановая и абиетиновая кислоты.

Достаточно подробно живицу сосны кедровой корейской, собранную в Хабаровском крае, изучили методом ГЖХ [Ралдугин, Пентегова, 1976]. Живицу разделяли на кислую и нейтральную части. Из нейтральной части получили фракции углеводов и кислородсодержащих соединений. Последнюю разделили на три фракции: карбонильные соединения и оксиды, одноатомные спирты и ди- и полифункциональные соединения. Главными компонентами неполярной фракции являлись дитерпеновые альдегиды и метиловые эфиры СК. Среди альдегидов главными были палюстраль, дегидроабиеताल и изопимараль. Среди метиловых эфиров преобладали метилизопимарат, метилламбертианат, метилдегидроабиеат и метилабиеат. Среди спиртов обнаружены *cis*-абиенол, 4-эпиизоцемброл, изоцемброл. Кроме того, в незначительных количествах с применением ЯМР выявили изопимара-8,15-диен-18-ол. Основными компонентами полярной фракции были агатадиол и изоагатадаль, обнаружены диол-7-оксидегидроабиеинол, пинусолид и метиловый эфир 15-оксидегидро-абиеиновой кислоты. Среди дитерпенов идентифицировали изопимара-7,15-диен и неоцембрен.

В работе [Хан и др., 1980] в живице сосны кедровой корейской методами ГЖХ, ИК и ПМР-спектроскопии достаточно подробно изучены моно- и сесквитерпеноиды. Кроме ранее детектированных  $\alpha$ -лонгипинена, лонгифолена, кариофиллена,  $\alpha$ -гумулена,  $\gamma$ -кадинена,  $\gamma$ -муролена и кадалина выявили  $\delta$ -кадинен,  $\alpha$ -муролен,  $\beta$ -фарнезен,  $\gamma$ -элемен,  $\gamma$ -аморфен,  $\alpha$ -кадинен,  $\varepsilon$ -муролен,  $\beta$ -бизаболен, циклосативен, каламенен и калокорен.

Установлены основные компоненты фракции сесквитерпеновых углеводов – кариофиллен,  $\beta$ -бизаболен и логнифолен. Из окисленных моно- и сесквитерпеноидов идентифицировали  $\alpha$ -терпинеол, терпинеол-4, борнеол, линалоол, пинокамфеол, пинокарвеол, пинан-1-ол, сабиненгидрат,  $\alpha$ -терпенилацетат, борнилацетат,  $\delta$ -кадинол, бизаболол (основной компонент), кубебол, эпикубебол, эпикубенол и курайол.

Сосна кедровая сибирская произрастает на огромных площадях, имеет важное народнохозяйственное значение, поэтому много работ посвящено изучению состава ее живицы. В высококипящей нейтральной части живицы обнаружены D- $\delta$ -кадинол, абиетиналь, цемброл [Лисина и др., 1965]. С помощью колоночной хроматографии из неё выделен бициклический сесквитерпеновый углеводород сибирен [Пентегова и др., 1966]. Его строение было определено методами ИК, УФ и ЯМР-спектроскопии. В работах [Каштанова и др., 1968, 1969] описаны выделенные из нейтральной части живицы углеводород изоцембрэн и спирт изоцемброл. Для углеводорода цембрена, выделенного также из живицы сосны кедровой сибирской, была проведена полная интерпретация спектров ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  с использованием двумерной спектроскопии [Воробьев и др., 1991]. Качественный и количественный состав эфирных масел, растительных масел и канифоли подробно описан для различных частей сосны кедровой сибирской в обзоре [Rogachev, Salakhutdinov, 2015]. Авторами впервые приведено систематическое описание вторичных метаболитов хвои, побегов, коры, древесины, семян и живицы, однако отсутствуют спектральные данные индивидуальных соединений и нет информации об источниках их нахождения.

Следует заметить, что из ранее перечисленных кедровых сосен у кедрового стланика живица наименее доступна: при подсочке этих карликовых сосен её выделяется мало. Так, в работе [Мамонтова и др., 1970] был изучен лишь состав петролейного и эфирного экстрактов древесины. Методом ГЖХ были детектированы жирные кислоты, монотерпеновые углеводороды, ламбертиановая кислота, а также сесквитерпеноиды.

Состав живицы кедрового стланика, собранной в 1974 г. в Сахалинской области, исследовали методом ГЖХ [Ралдугин и др., 1976b]. Обнаружено 11 монотерпенов, главными из которых были  $\alpha$ -пинен,  $\alpha$ -туйен и терпинолен. Сесквитерпены представлены 26 углеводородами. Основными компонентами этой смеси являются лонгифолен,  $\alpha$ -муролен и  $\alpha$ -гумулен. В состав СК вошли: копайферовая (в современной литературе она называется антикопаловая), изопимара-8,15-диен-18-овая (в настоящее время она встречается под названием  $\Delta^{8,9}$ -изопимаровая), изопимаровая, абиетиновая, неоабиетиновая, левопимаровая, дегидроабиетиновая и сандаракопимаро-

вая. Отмечено, что состав смеси СК резко отличается от состава смеси СК живиц сосны кедровой сибирской и сосны кедровой корейской. В живице кедрового стланика отсутствовала ламбертиановая кислота, а вместо нее главными компонентами были копайферовая и изопимара-8,15-диен-18-овая кислоты. Кроме того, идентифицировали смесь окси- и ацетоксисмоляных кислот. Методом ЯМР были обнаружены незначительные количества дитерпеновых альдегидов и метиловых эфиров СК. Также в живице были обнаружены маноилоксид, цис-абиенол, (13E)-лабо-8(20),13-диен-15-ол, изопимаринол, а также 13,14-биснорлабо-8(20)-ен-13-он.

[Ралдугин и др., 1978] сравнили составы образцов живицы кедрового стланика, собранных на Сахалине и побережье оз. Байкал (июль 1976 г.). Были выделены те же дитерпеноиды, что обнаружены ранее в образцах из Сахалинской области, а также ряд новых веществ. Основным компонентом фракции нейтральных кислородсодержащих соединений был (13E)-лабд-8(20),13-диен-15-ол. Методом ЯМР были идентифицированы метиловые эфиры СК. Кроме того, обнаружили изо-цеброл, 4-эпиизоцеброл и цис-абиенол, а также одноатомные спирты, подобные СК, в которых карбоксильные группы заменены на метилгидроксильные. Авторы идентифицировали цис- и транс-альдегиды лабданового строения, обсудили механизмы их образования и дальнейших превращений. Дополнительно были выделены новые соединения: (+)-дегидроабиетан, (-)-абиетадиен и пумилоксид. Обнаружено, что в живице с побережья оз. Байкал отсутствует α-туйен, значительно меньше β-фелландрена и несколько больше α-пинена. Из сесквитерпенов присутствует α-бизаболен. Кроме того, в этой фракции идентифицировали еще 13 соединений. Основными компонентами сесквитерпеновых углеводов были лонгифолен, α-бизаболен и β-бизаболен. Во фракции окисленных моно- и сесквитерпенов доминировал бизаболен. Было обнаружено также 8 различных спиртов и 8 монотерпенов.

Дальнейшее изучение живицы кедрового стланика позволило выделить и идентифицировать производные антикопаловой кислоты, а также другие ранее не идентифицированные соединения [Ралдугин, Пентегова, 1983]. Установлено, что полярные кислоты представлены двумя ацетоксикислотами – о-ацетилагатоловой и ацетоксиантикопаловой. Кроме того, были обнаружены фенольные эфиры, а также в виде ацетатов выделены 1-борнилферулат и 1-борнил-п-кумарат. Установлено, что метаболизм антикопаловой кислоты в кедровом стланике связан с ее биологическим окислением по 8-му и 19-му углеродным атомам.

Подробный анализ эфирного масла кедрового стланика из Хабаровского края проведен в работе [Стародубов и др., 2010]. По результатам хрома-

то-масс-спектрометрии идентифицировано 56 соединений. Сравнительный анализ с составом живицы этого же вида сосны показал, что во всех образцах эфирного масла присутствуют цембрен и изоцембрен, отсутствующие в живице. Предполагается, что они образуются при длительной дистилляции из изоцеμβрола и 4-эпи-изоцеμβрола, присутствующих в живице.

Таким образом, существует достаточно много публикаций, где рассматривается химический состав живицы кедровых сосен. Однако анализ проводился, главным образом, хроматографическими методами после разделения кислотной и нейтральной частей, что могло привносить ошибку в определение относительного содержания в живице конкретных соединений. В приведенных работах метод ЯМР применялся только для идентификации некоторых выделенных соединений. Современные ЯМР спектрометры с высокой напряженностью магнитного поля позволяют анализировать сложные смеси различных соединений, находящихся в одном растворе, вне зависимости от того, к каким классам соединений они относятся.

*Цель данной работы* – сравнительный анализ основных компонентов живиц кедровых сосен методом ЯМР без предварительной пробоподготовки.

*Объекты и методика исследования.* Объектами исследования являлись живицы кедровых сосен (европейской, корейской и сибирской), растущих в Центральном ботаническом саду Национальной академии наук Беларуси (ЦБС), которые были собраны в 2018 г. из мест удаления сухих веток. Возраст кедровых сосен составлял более 60 лет, а высота – не менее 15 м. Исследовали образцы живицы, полученные от трех деревьев каждого вида кедровой сосны. Образцы живицы кедрового стланика от двух деревьев возрастом более 120 лет собраны на высоте ок. 900 м над уровнем моря в октябре 2023 г. (горный массив «Вачкажéц» Елизовского р-на, Камчатский край, РФ). Анализировали также состав живицы, выделившейся на шишках сосны кедровой корейской, собранных в октябре 2023 г. (ЦБС, Минск, РБ, три образца).

Для установления состава живиц кедровых сосен использовали метод ЯМР высокого разрешения на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . Для регистрации спектров ~100 мг каждого образца живицы растворяли в 0,5 мл  $\text{CDCl}_3$ . Спектры ЯМР записывали на спектрометре AVANCE-500 с рабочими частотами 500 и 125 МГц для ядер  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  соответственно при температуре 20°C. Для идентификации компонентов в спектрах живиц записывали ЯМР-спектры индивидуальных соединений, использовали также литературные данные. Количество накоплений для  $^1\text{H}$ -спектров составляло 64, а для  $^{13}\text{C}$ -спектров – 512. Химические сдвиги присутствующих в смеси соединений для ядер  $^1\text{H}$  определяли по сигналу примеси дейтерированного растворителя –  $\text{CHCl}_3$  ( $\delta = 7,27$  м.д.), а  $^{13}\text{C}$  – самого растворителя ( $\delta = 77,7$  м.д.). Все эксперимен-

тальные данные получены и обработаны при помощи пакета программ XWIN-NMR 3.5. Количественные расчёты проводили на основании интегральных интенсивностей групп сигналов соответствующих соединений в протонных спектрах, а в некоторых случаях – по  $^{13}\text{C}$ -спектрам.

*Результаты и их обсуждение.* В результате анализа спектров ЯМР растворов пяти образцов живицы идентифицированы 22 соединения: *цис*-абиенол (1), абиетиновая кислота (2), антикопаловая кислота (3), дегидроабиегаль (4), дегидроабиетиновая кислота (5), изопимаровая кислота (6),  $\Delta^{8,9}$ -изопимаровая кислота (7), изоцеброл (8), камфен (9),  $\Delta^3$ -карен (10), ламбертиановая кислота (11), левопимаровая кислота (12), лимонен (13), мирцен (14), неоабиетиновая кислота (15), палюстровая кислота (16), пимаровая кислота (17),  $\alpha$ -пинен (18),  $\beta$ -пинен (19), монометилловый эфир пиносильвина (20), сандаракопимаровая кислота (21) и цебрены (22). Этими же цифрами на спектрах обозначены сигналы всех указанных выше соединений.

Отнесение сигналов и химические сдвиги *цис*-абиенола (1) приведены в работе [Nieda et. al, 1982]. Химические сдвиги соединений (2, 5, 6, 15–17) представлены в [Скаковский и др., 2008], а спектры ЯМР антикопаловой кислоты (3) проанализированы в [Gomez et. al, 2009]. Интерпретация спектров ЯМР дегидроабиегала (4) дана в работе [Koutsaviti et. al, 2017], спектр  $^{13}\text{C}$   $\Delta^{8,9}$ -изопимаровой кислоты (7) – в [Бардышев и др., 1981], а изоцебролола (8) – в [Wahlberg et. al, 1981]. Отнесение  $^{13}\text{C}$ -сигналов ЯМР соединений 9, 10, 13, 14, 18, 19 дано в статье [Скаковский и др., 2006]. В работе [Cota et. al, 2011] проведено отнесение протонных и углеродных спектров ЯМР растворов в  $\text{CDCl}_3$  ламбертиановой кислоты (11). Применение двумерной ЯМР спектроскопии [Скаковский и др., 2007] позволило полностью отнести линии левопимаровой кислоты (12). Спектры ЯМР монометилового эфира пиносильвина (20) даны в работе [Петров и др., 2017], сандаракопимаровой кислоты (21) – в [Muto et. al, 2008], а углеродный спектр цебрена (22) приведен в работе [Rezzi et. al, 2002].

На рис. 1 показаны фрагменты спектров ЯМР раствора живицы сосны кедровой европейской (образец I): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$ . Главными соединениями этого образца живицы являются абиетиновая (2), изопимаровая (6) и ламбертиановая (11) кислоты.

Фрагменты спектров ЯМР раствора живицы сосны кедровой корейской (образец II) даны на рис. 2. В этом случае больше всего в живице образца II представлены те же кислоты. Однако мы не обнаружили монометилловый эфир пиносильвина (20), который в живице сосны кедровой европейской присутствует в заметных количествах. При этом в образце II идентифицируется *цис*-абиенол, который отсутствует в образце I.

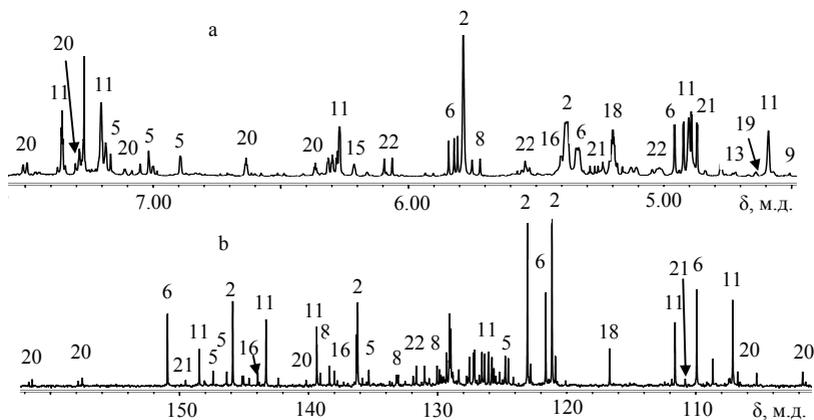


Рис. 1. Фрагменты спектров ЯМР раствора живицы сосны кедровой европейской (образец I): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$   
 Fig. 1. Fragments of NMR spectra of a solution of European pine oleoresin (sample I): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

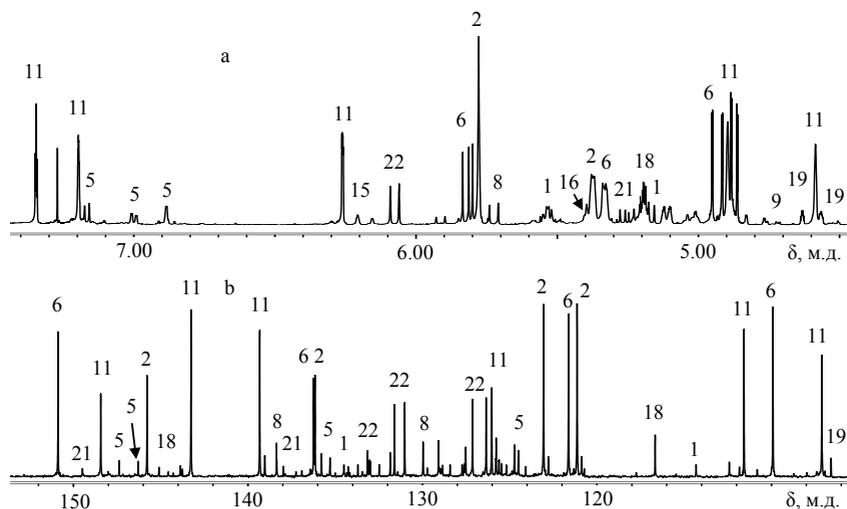


Рис. 2. Фрагменты спектров ЯМР раствора живицы сосны кедровой корейской (образец II): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$   
 Fig. 2. Fragments of NMR spectra of a solution of Korean pine oleoresin (sample II): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

Интересные особенности наблюдаются при анализе спектров живицы, собранной с поверхности шишек сосны кедровой корейской (образец III), фрагменты которых представлены на рис. 3.

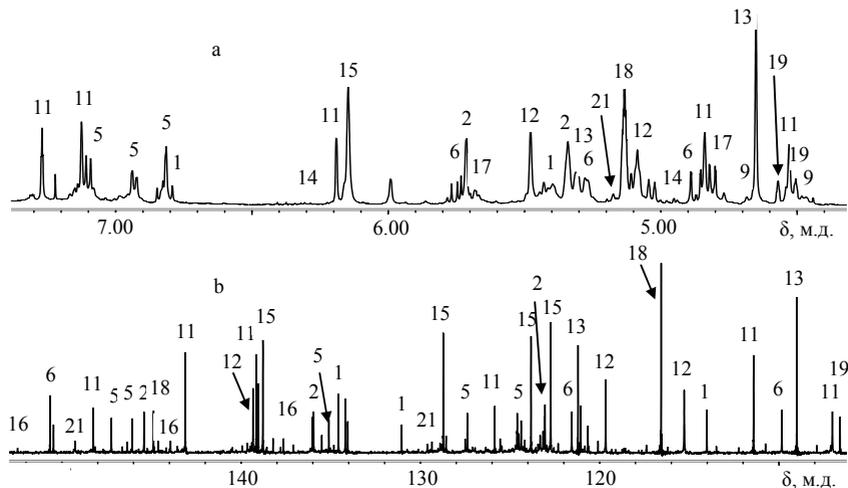


Рис. 3. Фрагменты спектров ЯМР раствора живицы с поверхности шишек сосны кедровой корейской (образец III): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

Fig. 3. Fragments of the NMR spectra of a solution of oleoresin from the surface of Korean pine cones (sample III): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

В отличие от живицы, собранной с дерева, главными компонентами здесь являются  $\alpha$ -пинен (18), неоабитиновая (15) и левопимаровая кислоты (12), причем последняя отсутствует в составе соответствующего древесного образца. Кроме того, в составе образца III не обнаружен цембрен (22), но в заметных количествах присутствовали неидентифицированные альдегиды.

Рис. 4 демонстрирует фрагменты спектров ЯМР растворов живицы сосны кедровой сибирской (IV). В этом случае, как и в двух предыдущих, где живица была взята с деревьев, главными соединениями являются абие-тиновая (2), изопимаровая (6) и ламбертиановая (11) кислоты. В отличие от всех предыдущих случаев здесь присутствует и  $\Delta^3$ -карен (10).

Фрагменты спектров ЯМР растворов живицы кедрового стланика (V) приведены на рис. 5. В этом образце в составе преобладают антикопаловая кислота (3),  $\alpha$ -пинен (18) и изопимаровая кислота (6).

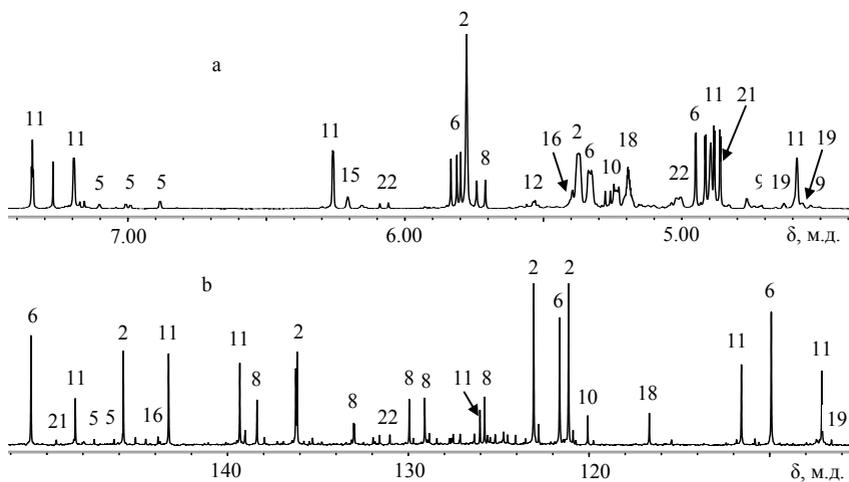


Рис. 4. Фрагменты спектров ЯМР раствора живицы сосны кедровой сибирской (образец IV): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

Fig. 4. Fragments of the NMR spectra of a solution of Siberian pine oleoresin (sample IV): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

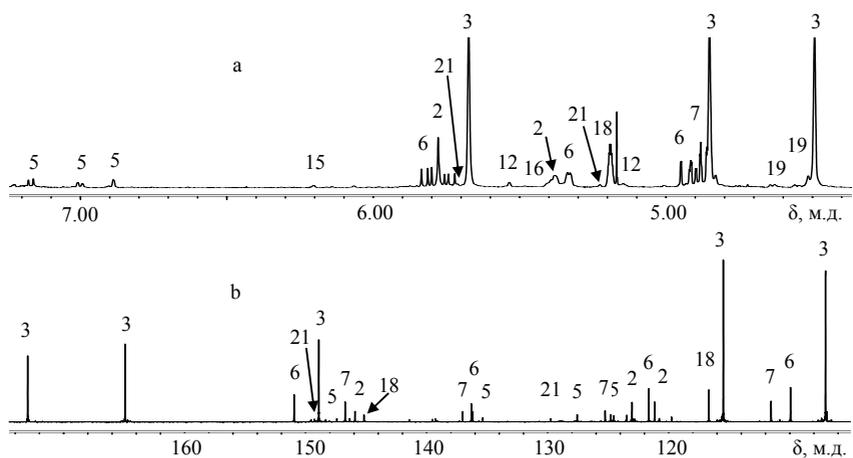


Рис. 5. Фрагменты спектров ЯМР раствора живицы кедрового стланика (V): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

Fig. 5. Fragments of NMR spectra of a solution dwarf cedar oleoresin (V): а –  $^1\text{H}$ , б –  $^{13}\text{C}$

Кроме того, диагностируется  $\Delta^{8,9}$ -изопимаровая кислота (7), которая не обнаружена в других живицах.

Качественный компонентный состав живицы каждого вида во всех образцах был одинаковым. Средние результаты количественных измерений состава живиц разных видов кедровых сосен представлены в табл. 1 (среднеквадратичное отклонение не превышало 7%).

Таблица 1

**Компонентный состав живиц различных кедровых сосен, мольные %**

**Component composition of oleoresin from different cedar pines, mole %**

Соединение	Образец живицы				
	I	II	III	IV	V
Цис-абиенол (1)	–	1,5	3,5	–	–
Абиетиновая кислота (2)	22,7	20,4	5,9	25,3	7,3
Антикопаловая кислота (3)	–	–	–	–	42,7
Дегидроабиеталь (4)	–	0,4	–	–	–
Дегидроабиетиновая кислота (5)	5,2	3,9	6,5	2,0	2,6
Изопимаровая кислота (6)	12,7	20,9	4,6	22,6	10,3
$\Delta^{8,9}$ -изопимаровая кислота (7)	–	–	–	–	8,5
Изоцеиброл (8)	5,4	4,3	–	8,3	–
Камфен (9)	0,5	0,2	0,3	0,6	–
$\Delta^3$ -карен (10)	–	–	–	4,6	–
Ламбертиановая кислота (11)	11,6	13,1	5,8	11,6	–
Левопимаровая кислота (12)	–	–	8,9	0,8	1,7
Лимонен (13)	0,8	0,2	7,3	0,5	–
Мирцен (14)	–	–	0,2	–	–
Неоабиетиновая кислота (15)	3,4	2,1	15,2	3,1	0,9
Палюстровая кислота (16)	5,2	2,9	0,8	1,5	0,4
Пимаровая кислота (17)	–	–	0,7	–	–
$\alpha$ -пинен (18)	9,3	5,0	17,3	6,4	16,7
$\beta$ -пинен (19)	1,6	2,6	2,5	1,8	1,3
ММЭ* пиносивлина (20)	5,4	–	–	–	–
Сандаракпимаровая кислота (21)	2,8	1,4	0,7	1,0	0,9
Цембрен (22)	5,4	7,1	–	1,8	–
Сумма	92,0	86,0	80,2	91,9	93,3

Примечание: \*ММЭ – монометилловый эфир

Анализ полученных данных, характеризующих состав живицы кедровых сосен подрода *Strobilus*, показывает, что в ней присутствуют практически все соединения, идентифицированные в составе живиц дву- и треххвойных сосен подрода *Pinus*, кроме пимаровой (17) и в некоторых случаях левопимаровой (12) кислот [Скаковский и др., 2021]. Кроме того, не обнаружены терпинолен,  $\beta$ -фелландрен и *n*-цимол. Однако состав живиц кедровых сосен значительно более разнообразен.

Главная отличительная черта живиц кедровых сосен – большое содержание дитерпеноидов лабданового типа: у европейской, корейской и сибирской кедровых сосен это ламбертиановая кислота (11), а у кедрового стланика – антикопаловая (3), причём одновременно эти кислоты не встречаются. Интересно отметить, что только у сосны кедровой корейской обнаружен лабдановый спирт *цис*-абиенол (1), причём в живице как со ствола, так и с поверхности шишек.

Кроме лабдановых дитерпеноидов в заметных количествах в живицах кедровых сосен, за исключением кедрового стланика, присутствуют цембренвые дитерпеноиды – изоцемброл (8) и цембрел (22).

Необходимо отметить, что составы живиц сосны кедровой корейской, собранных с дерева (II) и с поверхности шишек (III), заметно отличаются. Хотя в обоих случаях идентифицировано по 15 соединений, в живице с поверхности шишек содержится в  $\sim 3,5$  раза больше монотерпенов, а цембренвые дитерпеноиды отсутствуют. Кроме того, в образце III достаточно много левопимаровой кислоты (12), которая не обнаружена в образце II, а ламбертиановая кислота (11) меньше в  $\sim 2$  раза. В живице с поверхности шишек оказалось неожиданно много неоабиетиновой кислоты (15).

Отличительным признаком живицы кедрового стланика является наличие только в ней антикопаловой (3) и  $\Delta^{8,9}$ -изопимаровой кислот (7). Одновременно её химический состав оказался самым «бедным»: мы идентифицировали лишь 11 соединений.

*Выводы.* Исследования показали, что потенциально востребованная для получения фармпрепаратов живица кедровых сосен подрода *Strobilus* характеризуется наличием основных монотерпенов и таких же главных СК, как и живица дву- и трёххвойных сосен подрода *Pinus*, за исключением пимаровой кислоты. В отличие от живиц дву- и трёххвойных сосен особенностью живиц пятихвойных кедровых сосен является присутствие лабдановых и цембренновых дитерпенов.

Живицы сосен кедровых – европейской, корейской и сибирской – по составу отличаются слабо и из лабдановых кислот в заметных количествах

содержат лишь ламбертиановую кислоту. В живице кедрового стланика ламбертиановая кислота отсутствует, а главным компонентом является антикопаловая кислота.

*Благодарности.* Авторы благодарят Марину Викторовну Тябут (РФ, Камчатка, г. Вилучинск) за собранные и присланные ею для исследований образцы живицы кедрового стланика.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

*Бардышев И.И., Дегтяренко А.С., Пехк Т.И., Янковская Г.С.* О свойствах и строении дитерпеновых кислот ряда пимарана и изоимарана // Журнал органической химии. 1981. Т. 17, вып. 12. С. 2568–2573.

*Воробьев А.В., Сальников Г.Е., Шакиров М.М., Ралдугин В.А.* Спектры ЯМР и конформация цеибрена в растворе // Химия природных соединений. 1991. № 4. С. 455–459.

Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие культивируемые и перспективные для интродукции Ч. 1. Голосеменные. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 464 с.

*Запара Т.А., Вечкапова С.О., Проскура А.Л., Ратушняк А.С.* Синергический эффект ионов магния и амида ламбертиановой кислоты в регуляции активности глутаматных рецепторов НМДА типа пирамидных нейронов гиппокампа // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18, № 4/3. С. 1090–1099.

*Каитанова Н.К., Лисина А.И., Пентегова В.А.* Новые дитерпены – изоцеибрен и изоцеиброл – в живице *Pinus sibirica* // Химия природных соединений. 1968. № 1. С. 52–53.

*Каитанова Н.К., Лисина А.И., Пентегова В.А.* Состав нейтральной части живицы *Pinus sibirica*. VI. Изоцеибрен и изоцеиброл // Химия природных соединений. 1969. № 1. С. 10–14.

*Лисина А.И., Резвухин А.И., Пентегова В.А.* Состав нейтральной части живицы *Pinus sibirica*. Р. II. Кислородсодержащие соединения высококипящей нейтральной части живицы кедра // Химия природных соединений. 1965. № 4. С. 250–256.

*Мамонтова Г.А., Лисина А.И., Пентегова В.А.* Экстрактивные вещества древесины *Pinus putula* (Pall.) Regel // Известия СО АН СССР. 1970. № 12, вып. 5. С. 121–124.

*Олешук Е.Н., Киреева С.А., Попов Е.Г., Рудевич М.Н., Торчик В.И.* Экологические аспекты выращивания кедровой сосны в Беларуси // XIV Сибирское сощещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: тезисы докладов всероссийской конференции с международным участием Томск, 2021. С. 114–116.

Пентегова В.А., Капитанова Н.К., Резвухин А.И., Коликова Э.И. Состав нейтральной части живицы *Pinus sibirica*. IV. Структура сесквитерпенового углеводорода сибирена // Химия природных соединений. 1966. № 4. С. 239–244.

Пентегова В.А., Дубовенко Ж.В., Ралдугин В.А., Шмидт Э.М. Терпеноиды хвойных растений. Новосибирск: Наука, 1987. 97 с.

Петров К.А., Софронова В.Е., Чепалов В.А. Влияние пиносильвина и его метилового эфира на рост растений // Сибирский лесной журнал. 2017. № 1. С. 87–94. DOI: 10.15372/SJFS20170109.

Попов С.А., Козлова Л.П., Шпатов А.В., Шульц Э.Э., Толстиков Г.А. Патент RU 2436781 С1 Способ получения ламбертиановой кислоты из экстрактивных веществ древесной зелени кедра сибирского. Опубл. 20.12.2011. Бюл. №35.

Попов Е.Г., Олешук Е.Н. Сибирский кедр: символ силы и долголетия // Родная природа. 2016. № 1. С. 21–24.

Ралдугин В.А., Пентегова В.А. Новые дитерпеноидные компоненты живицы *Pinus koraiensis* // Химия природных соединений. 1976. № 2. С. 174–179.

Ралдугин В.А., Хан В.А., Дубовенко Ж.В., Пентегова В.А. Схема группового разделения компонентов живицы хвойных. Терпеноиды живицы *Pinus cembra* // Химия природных соединений. 1976а. № 5. С. 609–613.

Ралдугин В.А., Хан В.А., Дубовенко Ж.В., Пентегова В.А. Терпеноиды живицы *Pinus ritula* // Химия природных соединений. 1976б. № 3. С. 299–302.

Ралдугин В.А., Деменкова Л.И., Пентегова В.А. Новые дитерпеноидные компоненты живицы *Pinus ritula* // Химия природных соединений. 1978. № 3. С. 345–349.

Ралдугин В.А., Пентегова В.А. Производные антикопаловой кислоты и другие новые соединения из живицы *Pinus ritula* // Химия природных соединений. 1983. № 2. С. 158–162.

Скаковский Е.Д., Ламоткин С.А., Шпак С.И., Тычинская Л.Ю., Гайдукевич О.А., Ламоткин А.И. Применение спектроскопии ЯМР для анализа состава эфирного масла хвой сосны // Журнал прикладной спектроскопии. 2006. Т. 73, № 2. С. 246–249.

Скаковский Е.Д., Тычинская Л.Ю., Гайдукевич О.А., Клюев А.Ю., Козлов Н.Г., Барановский А.В., Рыков С.В. Термическая изомеризация левопимаровой кислоты, изученная методом ЯМР // Структура и динамика молекулярных систем. 2007. Вып. 1. С. 545–548.

Скаковский Е.Д., Тычинская Л.Ю., Гайдукевич О.А., Козлов Н.Г., Клюев А.Ю., Ламоткин С.А., Шпак С.И., Рыков С.В. Определение методом ЯМР состава бальзамов живицы сосны обыкновенной // Журнал прикладной спектроскопии. 2008. Т. 75, № 3. С. 411–415.

Скаковский Е.Д., Тычинская Л.Ю., Гапанькова Е.И., Латышев И.А., Шутова А.Г., Шиш С.Н., Ламоткин С.А. Состав живицы сосен подрода *Pinus*, изученный методом ЯМР // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 242–257. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.242-257.

Стародубов А.В., Домрачев Д.В., Ткачев А.В. Состав эфирного масла кедрового стланика (*Pinus pumila*) из Хабаровского края // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 81–86.

Толстикова Т.Г., Долгих М.П., Толстиков Г.А. Ламбертиановая кислота и её аминокислотные производные – новая группа перспективных нейротропных агентов // Доклады Академии Наук. 2000. Т. 374, № 2. С. 268–270.

Толстикова Т.Г., Воевода Т.В., Долгих М.П., Сорокина И.В. Нейротропная активность ламбертиановой кислоты и её аминокислотных производных // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2002а. Т. 65, № 2. С. 9–11.

Толстикова Т.Г., Воевода Т.В., Долгих М.П., Сорокина И.В. Амиды ламбертиановой кислоты, обладающие анальгетической активностью и стимулирующим действием // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2002б. Т. 65, № 2. С. 86–88.

Хан В.А., Гатиллов Ю.В., Дубовенко Ж.В., Пентегова В.А. Моно- и сескви-терпеноиды живиц *Pinus koraiensis* и *P. pumila*. Кристаллическая структура 1β,4αH,7αH,10βH-гвайан-5α,14-диола // Химия природных соединений. 1980. № 4. С. 505–510.

Шкутко Н.В. Хвойные Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1991. 263 с.

Cota B.B., Oliveira D.M., Signeira E.P., Souza-Fagundes E.M., Pimenta A.M., Santos D.M., Rabello A., Zani C.L. New cassane diterpenes from *Caesalpinia echinata* // Fitoterapia. 2011. Vol. 82, iss. 7. P. 969–975.

Gomez C.V., Martinez-Vazquez M., Esquivel B. Antifeedant activity of anticopalic acid isolated from *Vitex hemsleyi* // Z. Naturforsch. 2009. Vol. 64, no. 7-8. P. 502–508.

Hieda T., Mikami Y., Obi Y., Kisaki T. Microbial transformation of cis-abienol // Agric. Biol. Chem. 1982. Vol. 46, no. 9. P. 2249–2255.

Koutsaviti A., Ionnou E., Coulatis M., Tzakou O., Roussis V. <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectral assignments of abietane diterpenes from *Pinus heldreichii* and *Pinus nigra* subsp. *nigra* // Magn. Reson. Chem. 2017. Vol. 55, no. 8. P. 772–778.

Muto N., Tomokuni T., Haramoto H., Nakanishi T., Inatomi Y., Murata H., Inada A. Isolation of apoptosis and differentiation-including substances toward human promyelocytic leukemia HL-60 cells from leaves of *Juniperus taxifolia* // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2008. Vol. 72, no. 2. P. 477–484.

Rellstab C., Dauphin B., Zoller S., Brodbeck S., Gugerli F. Using transcriptome sequencing and pooled exome capture to study local adaptation in the giga-genome of *Pinus cembra* // Mol. Ecol. Resour. 2019. Vol. 19, no. 2. P. 536–551. DOI: 10.1111/1755-0998.12986.

Rezzi S., Bighelli A., Castola V., Casanova J. Direct identification and quantitative determination of acidic and neutral diterpenes using <sup>13</sup>C-NMR-spectroscopy. Application to the analysis of oleoresin of *Pinus nigra* // Applied spectroscopy. 2002. Vol. 56, no. 3. P. 312–317.

Rogachev A.D., Salakhutdinov N.F. Chemical composition of *Pinus sibirica* (Pinaceae) // Chemistry and Biodiversity. 2015. Vol. 12, no. 1. P. 1–53. DOI: 10.1002/cbdv.201300195.

Wahlberg I., Wallin I., Narbonne C., Nishida T., Enzell C.R. Note on the stereostructures of Thunbergol (isocembrol) and 4-epiisocembrol // Acta. Chem. Scand. 1981. Vol. 35, no. 1. P. 65–68.

## References

Bardyshev I.I., Degtyarenko A.S., Pekhk T.I., Yankovskaya G.S. On the properties and structure of diterpene acids of the pimarane and isopimarane series. *Zhurnal organicheskoy khimii*, 1981, T. 17, iss. 12, pp. 2568–2573. (In Russ.)

Cota B.B., Oliveira D.M., Signeira E.P., Souza-Fagundes E.M., Pimenta A.M., Santos D.M., Rabello A., Zani C.L. New cassane diterpenes from *Caesalpinia echinata*. *Fitoterapia*, 2011, vol. 82, iss. 7, pp. 969–975.

Gomez C.V., Martinez-Vazquez M., Esquivel B. Antifeedant activity of anticopalic acid isolated from *Vitex hemsleyi*. *Z. Naturforsch.*, 2009, vol. 64, no. 7-8, pp. 502–508.

Hieda T., Mikami Y., Obi Y., Kisaki T. Microbial transformation of cis-abienol. *Agric. Biol. Chem.*, 1982, vol. 46, no. 9, pp. 2249–2255.

Kashtanova N.K., Lisina A.I., Pentegova V.A. New diterpenes – isocembrine and isocembrol – in *Pinus sibirica* oleoresin. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1968, no. 1, pp. 52–53. (In Russ.)

Kashtanova N.K., Lisina A.I., Pentegova V.A. Composition of the neutral part of *Pinus sibirica* resin. VI. Isocembrene and isosembrene. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1969, no. 1, pp. 10–14. (In Russ.)

Khan V.A., Gatilov Yu.V., Dubovenko Zh.V., Pentegova V.A. Mono- and sesquiterpenoids of *Pinus koraiensis* and *P. pumila* oleoresins. Crystal structure of 1 $\beta$ ,4 $\alpha$ H,7 $\alpha$ H,10 $\beta$ H-guayan-5 $\alpha$ ,14-diol. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1980, no. 4, pp. 505–510. (In Russ.)

Koutsaviti A., Ionou E., Coulatis M., Tzakou O., Roussis V. <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectral assignments of abietane diterpenes from *Pinus heldreichii* and *Pinus nigra subsp. nigra*. *Magn. Reson. Chem.*, 2017, vol. 55, no. 8, pp. 772–778.

Lisina A.I., Rezvukhin A.I., Pentegova V.A. Composition of the neutral part of *Pinus sibirica* resin. R. II. Oxygen-containing compounds of the high-boiling neutral part of cedar resin. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1965, no. 4, pp. 250–256. (In Russ.)

Mamontova G.A., Lisina A.I., Pentegova V.A. Extractive substances of *Pinus pumila* (Pall.) Regel wood. *Izvestiya SO AN SSSR*, 1970, no. 12, iss. 5, pp. 121–124. (In Russ.)

Muto N., Tomokuni T., Haramoto H., Nakanishi T., Inatomi Y., Murata H., Inada A. Isolation of apoptosis and differentiation-including substances toward human promyelocytic leukemia HL-60 cells from leaves of *Juniperus taxifolia*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 2008, vol. 72, no. 2, pp. 477–484.

Oleshuk E.N., Kireeva S.A., Popoff E.G., Rudevich M.N., Torchik V.I. Ecological aspects of growing cedar pine in Belarus. *XIV Siberian meeting and school of young scientists on climate and environmental monitoring: report's abstracts of All-Russian conference with international participation*. Tomsk, 2021, pp. 114–116. (In Russ.)

Pentegova V.A., Kashtanova N.K., Rezvukhin A.I., Kolikova E.I. Composition of the neutral part of *Pinus sibirica* resin. IV. Structure of the sesqui-terpene hydrocarbon sibirene. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1966, no. 4, pp. 239–244. (In Russ.)

Pentegova V.A., Dubovenko Zh.V., Raldugin V.A., Schmidt E.M. Terpenoids of coniferous plants. Novosibirsk: Nauka, 1987. 97 p. (In Russ.)

Petrov K.A., Sofronova V.E., Chepalov V.A. The influence of pinosylvin and its methyl ester on plant growth. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2017, no. 1, pp. 87–94. DOI: 10.15372/SJFS20170109. (In Russ.)

Popoff E.G., Oleshuk E.N. Siberian cedar: a symbol of strength and longevity. *Rodnaya priroda*, 2016, no. 1, pp. 21–24. (In Russ.)

Popov S.A., Kozlova L.P., Shpatov A.V., Shultz E.E., Tolstikov G.A. RU Patent 2436781 C1 Method for producing lambertianic acid from extractive substances of green woody Siberian cedar. Publ. 20.12.2011. Bull. no. 35. (In Russ.)

Raldugin V.A., Pentegova V.A. New diterpenoid components of *Pinus koraiensis* oleoresin. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1976, no. 2, pp. 174–179. (In Russ.)

Raldugin V.A., Khan V.A., Dubovenko Zh.V., Pentegova V.A. Scheme of group separation of coniferous resin components. Terpenoids of *Pinus cembra* oleoresin. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1976a, no. 5, pp. 609–613. (In Russ.)

Raldugin V.A., Khan V.A., Dubovenko Zh.V., Pentegova V.A. Terpenoids of *Pinus pumila* resin. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1976b, no. 3, pp. 299–302. (In Russ.)

Raldugin V.A., Demenkova L.I., Pentegova V.A. New diterpenoid components of *Pinus pumila* oleoresin. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1978, no. 3, pp. 345–349. (In Russ.)

Raldugin V.A., Pentegova V.A. Anticopalic acid derivatives and other new compounds from *Pinus pumila* oleoresin. *Khimiya prirodnikh soyedineniy*, 1983, no. 2, pp. 158–162. (In Russ.)

Rellstab C., Dauphin B., Zoller S., Brodbeck S., Gugerli F. Using transcriptome sequencing and pooled exome capture to study local adaptation in the giga-genome of *Pinus cembra*. *Mol. Ecol. Resour.*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 536–551. DOI: 10.1111/1755-0998.12986.

Rezzi S., Bighelli A., Castola V., Casanova J. Direct identification and quantitative determination of acidic and neutral diterpenes using <sup>13</sup>C-NMR-spectroscopy. Application to the analysis of oleoresin of *Pinus nigra*. *Applied spectroscopy*, 2002, vol. 56, no. 3, pp. 312–317.

Rogachev A.D., Salakhutdinov N.F. Chemical composition of *Pinus sibirica* (Pinaceae). *Chemistry and Biodiversity*, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 1–53. DOI: 10.1002/cbdv.201300195.

Shkutko N.V. Conifers of Belarus. Minsk: Nauka i tekhnika, 1991. 263 p. (In Russ.)

Skakovskii E.D., Lamotkin S.A., Shpak S.I., Tychinskaya L.Yu., Gaydukevich O.A., Lamotkin A.I. Application of NMR spectroscopy to analyze the composition of essential oil of pine needles. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2006, T. 73, no. 2, pp. 246–249. (In Russ.)

Skakovskii E.D., Tychinskaya L.Yu., Gaydukevich O.A., Klyuev A.Yu., Kozlov N.G., Baranovskii A.V., Rykov S.V. Thermal isomerization of levopimaric acid studied by NMR. *Struktura i dinamika molekulyarnykh sistem*, 2007, iss. 1, pp. 545–548. (In Russ.)

Skakovskii E.D., Tychinskaya L.Yu., Gaydukevich O.A., Kozlov N.G., Klyuev A.Yu., Lamotkin S.A., Shpak S.I., Rykov S.V. Determination by NMR method of the composition of Scots pine resin balsams. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2008, T. 75, no. 3, pp. 411–415. (In Russ.)

Skakovskii E.D., Tychinskaya L.Yu., Hapankova A.I., Latyshevich I.A., Shutova A.G., Shish S.N., Lamotkin S.A. Composition of oleoresin of pines of the *Pinus subgenus*, studied by NMR. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 242–257. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.242-257. (In Russ.)

Starodubov A.V., Domrachev D.V., Tkachev A.V. Composition of the essential oil of dwarf cedar (*Pinus pumila*) from the Khabarovsk Territory. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 1, pp. 81–86. (In Russ.)

Tolstikova T.G., Dolgikh M.P., Tolstikov G.A. Lambertianic acid and its amino derivatives are a new group of promising neurotropic agents. *Doklady Akademii Nauk*, 2000, T. 374, no. 2, pp. 268–270. (In Russ.)

Tolstikova T.G., Voevoda T.V., Dolgikh M.P., Sorokina I.V. Neurotropic activity of lambertianic acid and its amino derivatives. *Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya*, 2002a, T. 65, no. 2, pp. 9–11. (In Russ.)

Tolstikova T.G., Voevoda T.V., Dolgikh M.P., Sorokina I.V. Lambertianic acid amides with analgesic activity and stimulating effect. *Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya*, 2002b, T. 65, no. 2, pp. 86–88. (In Russ.)

Trees and shrubs of the USSR. Wild, cultivated and promising for introduction Part I. Gymnosperms. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1949. 464 p. (In Russ.)

Vorobyov A.V., Salnikov G.E., Shakirov M.M., Raldugin V.A. NMR spectra and conformation of cembrene in solution. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1991, no. 4, pp. 455–459. (In Russ.)

Wahlberg I., Wallin I., Narbonne C., Nishida T., Enzell C.R. Note on the stereostructures of Thunbergol (isocembrol) and 4-epiisocembrol. *Acta. Chem. Scand.*, 1981, vol. 35, no. 1, pp. 65–68.

Zapara T.A., Vechkapova S.O., Proskura A.L., Ratushnyak A.S. Synergistic effect of magnesium ions and lambertianic acid amide in regulating the activity of NMDA glutamate receptors such as pyramidal neurons of the hippocampus. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2014, T. 18, no. 4/3, pp. 1090–1099. (In Russ.)

**Скаковский Е.Д., Тычинская Л.Ю., Попов Е.Г., Гапанькова Е.И., Молчанова О.А., Богушевич С.Е., Караневский Р.И., Торчик В.И.** ЯМР-анализ состава живицы кедровых сосен // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 260–281. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.260-281

Кедровые сосны относятся к подроду *Strobus* и являются особо хозяйственно ценной группой хвойных растений не только из-за древесины, но также благодаря полезным компонентам их живиц, химический состав которых изучен далеко не достаточно. Нами проведен сравнительный количественный анализ состава живиц кедровых сосен, взятых от разных деревьев сосны кедровой корейской (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), кедровых сосен европейской (*P. cembra* L.) и сибирской (*P. sibirica* Du Tour), а также сосны кедровой стланиковой (*Pinus pumila* (Pall.) Regel). Для этого мы использовали метод ЯМР-спектроскопии на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  (позволяющий одновременную детекцию в образцах всех растворимых соединений). В ходе исследования идентифицировано 22 соединения, в числе которых 11 смоляных кислот. Анализ полученных данных, характеризующий состав живицы кедровых сосен подрода *Strobus*, показал, что в ней присутствуют практически все соединения, типичные для живиц дву- и трёххвойных сосен подрода *Pinus*, кроме пимаровой и в некоторых случаях левопимаровой кислот, а также не обнаружены терпинолен,  $\beta$ -фелландрен и *n*-цимол. Установлено, что особенностью живиц пятихвойных кедровых сосен является присутствие лабдановых и цембренных дитерпенов. Живицы кедровых сосен – европейской, корейской и сибирской – мало отличаются между собой по составу; при этом из лабдановых кислот в заметных количествах они содержат лишь ламбертиановую кислоту. В составе живицы кедрового стланика компонентов меньше, в частности, ламбертиановая кислота отсутствует, а главным компонентом является антикопаловая кислота. Состав живицы с поверхности шишек сосны кедровой корейской заметно отличается от живицы деревьев этого же вида. В ней концентрация монотерпенов примерно в 3,5 раза выше, а у ламбертиановой кислоты – почти вдвое меньше, при этом достаточно много левопимаровой и неоабиетиновой кислот, цембренные дитерпены отсутствуют вовсе.

Ключевые слова: кедровые сосны, состав живицы, смоляные кислоты, монотерпены, ЯМР-спектры.

**Skakovskii E.D., Tychinskaya Yu., Popoff E.H., Napankova A.I., Molchanova O.A., Bogushevich S.E., Karaneuski R.I., Torchik V.I.** NMR analysis of the cedar pines' oleoresin composition. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 260–281 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.260-281

Cedar pines belong to the subgenus *Strobus* and are a economically valuable group of coniferous plants not only because of their wood, but also due to the useful components of their resin, the chemical composition of which is far from sufficiently studied. That is why, we carried out a comparative quantitative analysis of the composition of cedar pine resin taken from different trees of each species: Korean cedar pine (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.), European cedar pine (*P. cembra* L.) and Siberian cedar (*P. sibirica* Du Tour), as well as Siberian dwarf pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel). To do this, we used the method of <sup>1</sup>H- and <sup>13</sup>C- NMR spectroscopy (allowing simultaneous detection of all soluble compounds in the samples). The study identified a total of 22 compounds, including 11 resin acids. The data obtained on the composition of the subgenus *Strobus* cedar pines' resins testify to the presence of almost all the compounds typical for the subgenus *Pinus* two- and three-needle pines' resins, except for pimaric and levopimaric acids; also terpinolene,  $\beta$ -phellandrene and *p*-cymene were not detected. The presence of labdane and cembrene diterpenes proved to be characteristic feature of the five-needle cedar pines resins. As it turned out, the European, Korean and Siberian cedar pines resins differ little from each other in composition and, at the same time, among labdonic acids, they contain only lambertian acid in noticeable quantities. The composition of dwarf cedar resin contains fewer compounds; in particular, lambertian acid is absent, but the main component is anticopalic acid. Worthy to point that the resins' composition on the surface of Korean cedar cones is noticeably different from the same species analogs of the trees' trunks, specifically in it the concentration of monoterpenes is approximately 3.5 times higher, and lambertianic acid is almost half as much, while there is quite a lot of levopimaric and neoabietic acids, but cembrene diterpenes are absent at all.

**Key words:** cedar pines, oleoresin composition, resin acids, monoterpenes, NMR spectra.

---

**СКАКОВСКИЙ Евгений Доминикович** – ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования Института физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, кандидат химических наук. ORCID: 0000-0002-1256-2110. SCOPUS AuthorID: 6701774609.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: sed@ifoch.bas-net.by.

**SKAKOVSKII Evgeny D.** – PhD (Chemical), leading researcher in the Laboratory of Physico-Chemical Methods of Research, Institute of Physical-Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. ORCID: 0000-0002-1256-2110. SCOPUS AuthorID: 6701774609.

220072. Surganova str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: sed@ifoch.bas-net.by.

**ТЫЧИНСКАЯ Людмила Юльевна** – заведующий лабораторией физико-химических методов исследования Института физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, кандидат химических наук. AuthorID: 196698. ORCID: 0000-0003-0804-1010. SCOPUS AuthorID: 6602847841.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: sed@ifoch.bas-net.by.

**TYCHINSKAYA Lyudmila Yu.** – PhD (Chemical), head of the Laboratory of Physico-Chemical Methods of Research, Institute of Physical-Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. AuthorID: 196698. ORCID: 0000-0003-0804-1010. SCOPUS AuthorID: 6602847841.

220072. Sarganova str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: sed@ifoch.bas-net.by.

**ПОПОВ Евгений Германович** – ведущий научный сотрудник лаборатории биоразнообразия растительных ресурсов Центрального ботанического сада НАН Беларуси, кандидат биологических наук. SPIN-код: 2560-1641. AuthorID: 776542. ORCID: 0000-0002-2156-7511. SCOPUS AuthorID: 6507795611.

220012, ул. Сурганова, д. 2В, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: ehpopoff@mail.ru

**POPOFF Eugene H.** – PhD (Biological), leading researcher of The Laboratory of Plant Resources Biodiversity, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. SPIN-code: 2560-1641. AuthorID: 776542. ORCID: 0000-0002-2156-7511. SCOPUS AuthorID: 6507795611.

220012. Sarganova str. 2B. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: ehpopoff@mail.ru

**ГАПАНЬКОВА Елена Игоревна** – научный сотрудник лаборатории мембранных процессов Института физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси. SPIN-код: 3239-7866. AuthorID: 1248896. ORCID: 0000-0002-7629-8304. SCOPUS AuthorID: 57224937377.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: elenagapankova@gmail.com.

**HAPANKOVA Alena I.** – researcher of the Laboratory of Membrane Processes, Institute of Physical-Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. SPIN-code: 3239-7866. AuthorID: 1248896. ORCID: 0000-0002-7629-8304. SCOPUS AuthorID: 57224937377.

220072. Sarganova str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: elenagapankova@gmail.com.

**МОЛЧАНОВА Ольга Александровна** – научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования Института физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси.

220072, ул. Сурганова, д. 13, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: sed@ifoch.bas-net.by.

**MOLCHANOVA Olga A.** – researcher of The Laboratory of Physico-Chemical Methods of Research, Institute of Physical-Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus.

220072. Surganova str. 13. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: sed@ifoch.bas-net.by.

**БОГУШЕВИЧ Светлана Евгеньевна** – ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси, кандидат химических наук. AuthorID: 203302.

220141, ул. Ак. Купревича, д. 5/2, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: bse@iboch.by.

**BOGUSHEVICH Svetlana E.** – PhD (Chemical), leading researcher of the Laboratory of Physical and Chemical Research Methods, Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. AuthorID: 203302.

220141. Ak. Kuprevicha str. 5/2. Minsk, Republic of Belarus. E-mail: bse@iboch.by.

**КАРАНЕВСКИЙ Руслан Игоревич** – младший научный сотрудник лаборатории декоративного садоводства Центрального ботанического сада НАН Беларуси, кандидат биологических наук.

220012, ул. Сурганова, д. 2В, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: dendro@tut.by.

**KARANEUSKI Ruslan I.** – PhD (Biological), junior researcher of The Laboratory of Ornamental Horticulture, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus.

220012. Surganova str. 2В. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: dendro@tut.by.

**ТОРЧИК Владимир Иванович** – заведующий лабораторией декоративного садоводства Центрального ботанического сада НАН Беларуси, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук. SPIN-код: 8460-6315. AuthorID: 914735. SCOPUS AuthorID: 13405983000.

220012, ул. Сурганова, д. 2В, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: dendro@tut.by.

**TORCHIK Vladimir I.** – DSc (Biological), head of the Laboratory of Ornamental Horticulture, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Corresponding Member of the NAS of Belarus. SPIN-code: 8460-6315. AuthorID: 914735. SCOPUS AuthorID: 13405983000.

220012. Surganova str. 2В. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: dendro@tut.by.

**А.В. Курзин, К.А. Пискунов, А.А. Таразанов, А.Н. Евдокимов,  
А.Ю. Корочинский**

**ПОЛИАМИДОАМИН-ЭПИХЛОРГИДРИНОВЫЕ СМОЛЫ  
НА ОСНОВЕ ДИСПРОПОРЦИОНИРОВАННОЙ ТАЛЛОВОЙ  
КАНИФОЛИ**

*Введение.* Расширение спектра синтетических веществ и материалов с высокой добавленной стоимостью на основе побочных продуктов сульфатной варки целлюлозы является актуальной задачей лесохимической отрасли химической промышленности. К таким продуктам относятся сульфатный скипидар, сульфатный лигнин, а также талловое масло и его фракции: жирные кислоты, канифоль, пек и их разнообразные синтетические производные [Головин и др., 1988; Журавлев, 1988; Варанкина, Русаков, 2013; Евстигнеев и др., 2021; Курзин, Евдокимов, 2021]. Талловая канифоль и ее производные применяются в различных отраслях, в том числе в проклеивающих составах при производстве бумаги и картона [Журавлев, 1988; Флейшер, Черная, 2019; Черная, Герман, 2020]. Диспропорционированная канифоль является одним из важнейших крупнотоннажных продуктов переработки талловой канифоли [Головин и др., 1988; Папков и др., 2015]. Она преимущественно состоит из дегидро- и дигидроабетиновых кислот. По сравнению с обычной и модифицированной малеиновым ангидридом/фумаровой кислотой канифолью диспропорционированная канифоль, полученная с использованием металлических катализаторов либо очищенная от катализатора диспропорционирования (йода), имеет более светлый цвет (низкое значение цветности по шкале Гарднера). Она также обладает большей стабильностью к окислению и, следовательно, устойчивостью цвета при хранении. Такой вид диспропорционированной канифоли может быть сырьем в синтезе т.н. «светлых» продуктов, к которым относятся:

- глицериновые и пентаэритритовые эфиры, используемые в качестве основы адгезивных/клеевых составов различного назначения [Hiscock, Krajsa, 2007];
- калиевые соли, применяемые в качестве эмульгаторов при производстве бутадиен-стирольных каучуков низкотемпературной эмульсионной полимеризацией [Папков и др., 2015].

Синтез полиамидааминовых смол на основе канифоли неоднократно был описан в литературе [Гордейко и др., 2014, 2015; Флейшер и др., 2014; Флейшер, Черная, 2019]. Применение канифоли в составах азотсодержащих проклеивающих смол для бумаги и картона основано на гидрофобизирующем действии смоляных кислот на целлюлозное волокно. Присутствие канифоли в смолах позволяет улучшить прочность и аналогичные показатели качества бумаги из макулатуры по сравнению с применением полиамидамин-эпихлоргидриновой смолы [Флейшер и др., 2014]. Показано, что синтезированные на основе дегидроабетиновой кислоты полиамидааминовые смолы также, как и при использовании абетиновой кислоты, талловой и живичной канифоли, обладали светло-коричневым цветом [Флейшер и др., 2014].

Полиамидамин-эпихлоргидриновые смолы относятся к катионным клеям и широко используются в промышленном масштабе для проклейки бумаги и картона [Загидуллин и др., 1996; Черная, Герман, 2020]. Они производятся, например, под торговыми марками Ультрарез, Кратарез, Melapret, Maresin и др. Преимущества катионных клеев:

- высокая проклеивающая способность и придание волокнистому материалу повышенной механической прочности как во влажном, так и в сухом состоянии;
- возможность применения в широком диапазоне pH бумажной массы (от кислой до щелочной);
- отсутствие необходимости использования вспомогательных электролитов (например, сульфата алюминия), что также снижает эксплуатационные расходы на обслуживание оборудования [Черная, Герман, 2020].

Использование проклеивающих составов с низким значением цветности по шкале Гарднера позволяет повысить белизну выпускаемой бумаги и снизить количество используемых вспомогательных веществ (наполнителей) для повышения ее белизны. Образование полиамидаминов на основе канифоли, диэтилентриамина и адипиновой кислоты может быть представлено схемой (рис. 1) [Флейшер и др., 2014].

*Цель работы* – исследование возможности использования диспропорционированной талловой канифоли с низким численным значением цветности по шкале Гарднера в качестве компонента полиамидааминовых и полиамидамин-эпихлоргидриновых смол с аналогичным низким значением цветности. Применение указанного вида диспропорционированной канифоли в качестве сырья для производства проклеивающих материалов расширяет области ее промышленного использования в тех направлениях, где важна цветность и ее стабильность для канифольсодержащих продуктов.

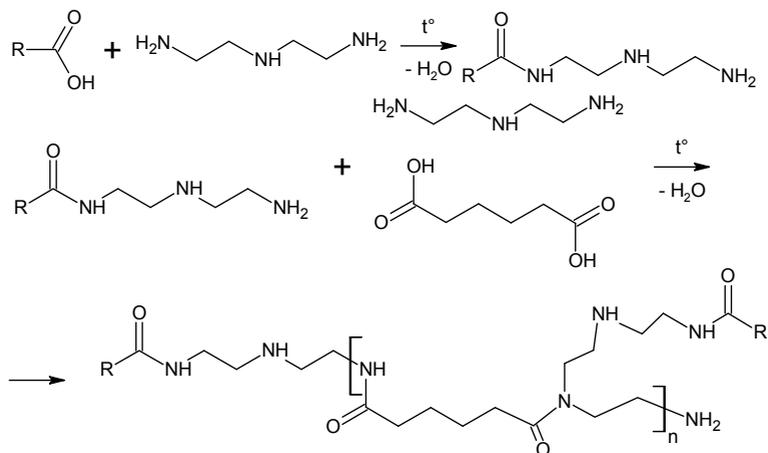


Рис. 1. Схема синтеза полиамидаминовой смолы, где R – остаток смоляной кислоты

Fig. 1. Synthetic scheme for polyamidoamine resin, R – rosin acid radical

**Материалы и методика исследования.** В работе были использованы следующие сырье и реактивы: диспропорционированная талловая канифоль (ООО «Янтарный поток»), свойства и характеристики образца которой представлены в табл. 1, а также диэтилен триамин (ч.), эпихлоргидрин (ч.д.а.), соляная кислота (35%-ный раствор, х.ч.) и 2-аминоэтанол (х.ч.).

Таблица 1

**Свойства и характеристики образца диспропорционированной талловой канифоли**

**Properties and characteristics of disproportionated tall oil rosin**

Наименование показателя	Значение показателя
Кислотное число, мг КОН/г	163
Содержание неомыляемых веществ, %	5
Цвет по шкале Гарднера	Не более 2
Содержание дегидроабиединовой кислоты, %	70,4
Содержание йода, мг/кг	54
Содержание смоляных кислот с сопряженными двойными связями (в пересчете на абиединовую кислоту при $\lambda = 239-243$ нм), %	0
Содержание смоляных кислот с сопряженными двойными связями (при $\lambda = 241$ нм), %	2,35

Синтез полиамидааминовых смол осуществляли в ротационном испарителе, а присоединение эпихлоргидрина к полиамидамину с получением полиамидамин-эпихлоргидриновой смолы – с использованием магнитной мешалки. Цвет 50%-ных водных растворов смол по шкале Гарднера определяли на спектроколориметре Lico 200. Кислотное число смол определяли с использованием потенциометрического титратора Titrimo Basic 794. Динамическую вязкость растворов смол определяли при 25°C на вибрационном вискозиметре SV-1А. Стабильность 20%-ных растворов синтезированных полиамидааминовых и полиамидамин-эпихлоргидриновых смол определяли в течение 30 суток хранением в закрытой колбе при температуре 20–24 °С при дневном свете.

Смесь, состоящую из 20 г (0,19 моль) диэтилентриамина, 27 г (0,09 моль) диспропорционированной талловой канифоли, 7,3 г (0,05 моль) адипиновой кислоты и 1,5 г (0,025 моль) 2-аминоэтанола нагревали при 140°C в течение 4 ч до прекращения выделения воды. Далее температуру реакции повышали до 150°C и нагревали в течение часа. По окончании к реакционной массе добавляли 7,3 г адипиновой кислоты и вновь нагревали в течение 3 ч при 150°C. Полученную полиамидааминовую смолу (кислотное число 18 мг КОН/г) переносили в стакан и отбирали 17 г для получения полиамидамин-эпихлоргидриновой смолы. Полиамидааминовую смолу смешивали с 20 г воды до полного растворения и добавляли при перемешивании, не допуская разогрева реакционной массы выше 60°C, 4,8 г (0,05 моль) эпихлоргидрина. После добавления всего количества эпихлоргидрина смесь перемешивали в течение 30 минут при 22°C. Для стабилизации образца смолы добавляли 35%-ную соляную кислоту до достижения pH 3. Для определения содержания нелетучих веществ навеску смолы (3 г) осушали при 102°C в термостатируемой печи в течение 2 ч.

*Результаты исследования.* В основе методов синтеза полиамидааминовых и полиамидамин-эпихлоргидриновых смол нами были использованы опубликованные условия получения аналогичных и близких составов [Гордейко и др., 2014, 2015; Флейшер и др., 2014; Ло и др., 2016; Marten, Kamutzki, 1991]. Анализ литературных данных показал наличие двух главных отличий в методиках синтеза полиамидааминовых смол:

- осуществление процесса с использованием дополнительных «реагирующих» добавок (2-аминоэтанол, дихлоралканы и др.) или без них. Применение добавок объясняется снижением высокой реакционной способности аминов и предотвращением образования нерастворимого в воде полиаминоамида;

• регулирование целевой и побочных реакций, протекающих в процессе синтеза растворимого в воде азотсодержащего олигомера, температурным режимом, соотношением реагентов и стадийностью их взаимодействия. При наличии главной реакции – поликонденсации кислот с полиамином – в синтезе смол имеются и побочные (образование солей аммония при нейтрализации адипиновой и смоляных кислот амином и последующая дегидратация солей с образованием «мономерного амида» и прекращением поликонденсации; дегидратация адипиновой кислоты с образованием более реакционноспособного ангидрида).

Нами был выбран в качестве добавки 2-аминоэтанол, который в условиях синтеза смол, с одной стороны, приводит к образованию сложных эфиров, а с другой – амидов. Применение ротационного испарителя, сочетающего вакуумирование с эффективным перемешиванием, позволило снизить температуру процесса до 140–150 °С по сравнению с опубликованным диапазоном (170–190 °С). При этом удалось не ухудшить цвет полиаминоамида по сравнению с исходной диспропорционированной талловой канифолью. На стадии присоединения эпихлоргидрина к полиаминоамиду следует учитывать количество использованной воды, исходя из необходимости получения раствора заданной концентрации (обычно 20 или 25%). Применение воды необходимо также для снижения сильного экзотермического эффекта реакции. Как было указано выше, любые полиамидамин-эпихлоргидриновые смолы относятся к катионным клеям, следовательно, должны иметь в своей структуре азотсодержащий катион. Например, структура полиамидамин-эпихлоргидриновой смолы, содержащей аммонийный азот, на основе акрилопимаровой кислоты, триэтилентетрамина и эпихлоргидрина может быть представлена формулой (рис. 2) [Флейшер, Черная, 2019]:

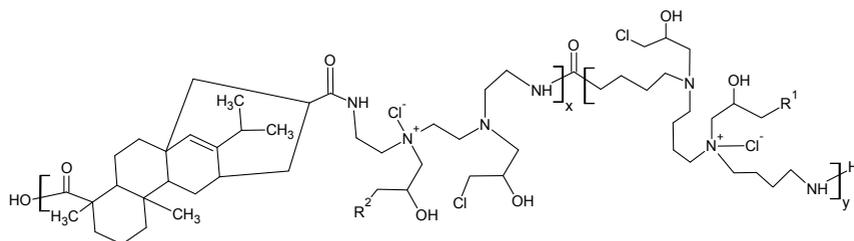


Рис. 2. Структура полиамидамин-эпихлоргидриновой смолы на основе акрилопимаровой кислоты, адипиновой кислоты, триэтилентетрамина и эпихлоргидрина

Fig. 2. Structure of polyamidoamine-epichlorohydrin resin based on acryl pimaric acid, adipic acid, triethylenetetramine and epichlorohydrin

В то же время, по данным [Лю и др., 2016] в синтезе полиамидамин-эпихлоргидриновой смолы на основе адипиновой кислоты, диэтилентриамина и эпихлоргидрина образуется азетидиниевый катион (рис. 3):

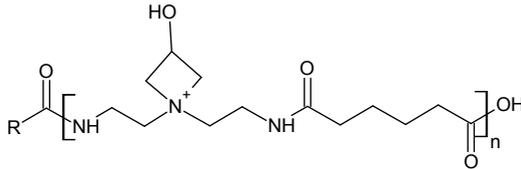


Рис. 3. Структура полиамидамин-эпихлоргидриновой смолы на основе адипиновой кислоты, диэтилентриамина и эпихлоргидрина с азетидиниевым катионом

Fig. 3. Structure of polyamidoamine-epichlorohydrin resin based on adipic acid, diethylenetriamine, and epichlorohydrin with azetidinium cation

Свойства и характеристики синтезированных полиамидаминовых и полиамидамин-эпихлоргидриновых смол на основе диспропорционированной талловой канифоли приведены в табл. 2. Установлено, что цветность по шкале Гарднера 50%-ных водных растворов составила не более 3.

Таблица 2

**Свойства и характеристики растворов полиамидаминовых (ПАА) и полиамидамин-эпихлоргидриновых (ПААЭ) смол на основе диспропорционированной талловой канифоли**

**Properties and characteristics of the solutions of polyamidoamine- (PAA) and polyamidoamine-epichlorohydrin (PAAE) resins based on disproportionated tall oil rosin**

Наименование показателя	Значение показателя	
	ПАА	ПААЭ
Внешний вид	Прозрачная светло-желтая жидкость	
Концентрация нелетучих веществ, %	20	20
Цвет по шкале Гарднера*	не более 3	
Динамическая вязкость при 25°C, мПа·с	105	114
Стабильность при хранении (30 сут./20–24°C)	+	+

Примечание: \* для 50%-ных водных растворов

Выпадения осадка и визуального ухудшения цвета растворов синтезированных смол при хранении в течение 30 суток не обнаружено.

*Заключение.* Результаты проведенного исследования свидетельствуют о возможности применения диспропорционированной талловой канифоли с низким численным значением цветности по шкале Гарднера в синтезе полиамидаминовых и полиамидамин-эпихлоргидриновых смол на основе адипиновой кислоты и диэтилентриамина. Установлено, что 50%-ные водные растворы синтезированных смол имеют цветность по шкале Гарднера не более 3 и стабильны при хранении при в течение 30 суток. Полученные смолы могут быть использованы для проклейки бумаги и картона.

*Вклад авторов:* А.В. Курзин, К.А. Пискунов и А.Н. Евдокимов – постановка задачи, оценка опубликованных методик и подбор условий синтеза смол, анализ свойств смол, обсуждение результатов, подготовка текста статьи; К.А. Пискунов, А.А. Таразанов и А.Ю. Корочинский – синтез смол, обсуждение результатов.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Варанкина Г.С., Русаков Д.С.* Модификация фенолоформальдегидной смолы побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2013. Вып. 204. С. 130–137.

*Головин А.И., Трофимов А.Н., Узлов Г.А., Жукова И.П., Киприанов А.И., Прохорчук Т.И., Ковалев В.Е.* Лесохимические продукты сульфатцеллюлозного производства. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 288 с.

*Гордейко С.А., Черная Н.В., Жолнерович Н.В., Флейшер В.Л., Макарова Д.С.* Особенности применения в технологии бумаги продуктов поликонденсации адипиновой кислоты с диэтилентриамином и смоляными кислотами // *Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ, биотехнология.* 2014. № 4 (168). С. 130–133.

*Гордейко С.А., Черная Н.В., Шишаков Е.П.* Упрочнение макулатурных видов бумаги и картона, проклеенных в кислой, нейтральной и слабощелочной средах // *ИВУЗ. Лесной журнал.* 2015. № 5. С. 165–173. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.5.165.

*Евстигнеев Э.И., Гриненко Е.В., Васильев А.В.* Получение гидрогелей технических лигнинов // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2021. Вып. 235. С. 270–291. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.270-291.

*Журавлев П.И.* Канифоль, скипидар и продукты их переработки. М.: Лесная пром-сть, 1988. 71 с.

*Засидуллин Р.Н., Расулев З.Г., Абдрафикова Л.С., Гурьянов В.Е., Сарана Н.В., Скачков А.С.* Способ получения амидоэпихлоргидриновой смолы: патент РФ 2065454. 1996.

*Курзин А.В., Евдокимов А.Н.* Топливные депрессорные присадки на основе эфиров жирных кислот таллового масла // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2021. Вып. 237. С. 196–203. DOI: 10.21266/20794304.2021.237.196-203.

Ло Ю., Григорьев В., Лу Ч., Розенкранс С. Бумага и способы производства бумаги: патент РФ 2581862. 2016.

Папков В.Н., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж: ВГУИТ, 2015. 313 с.

Флейшер В.Л., Черная Н.В., Макарова Д.С., Гордейко С.А., Гермась А.В. Синтез новых полимеров на основе амидов смоляных кислот для упрочнения макулатурных видов бумаги // Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ, биотехнология. 2014. № 4 (168). С. 134–136.

Флейшер В.Л., Черная Н.В. Модифицированная канифоль: получение, свойства, применение. Минск: БГТУ, 2019. 304 с.

Черная Н.В., Герман Н.А. Синтетические материалы в бумажных и картонных производствах: ресурсосбережение и импортозамещение. Минск: БГТУ, 2020. 205 с.

Hiscock K., Krajca K. Rosin ester handbook. Almere: Arizona Chemical – International Paper, 2007. 175 p.

Marten M., Kamutzki W. Aqueous solutions of polyamidoamine-epichlorohydrin resins, and preparation and use thereof. Patent US 5019606. 1991.

## References

Chernaya N.V., German N.A. Synthetic materials in paper and cardboard production: resource conservation and import substitution. Minsk: BGTU, 2020. 205 p. (In Russ.)

Evstigneyev E.I., Grinenko E.V., Vasiliev A.V. Obtaining hydrogels of technical lignins. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2021, iss. 235, pp. 270–291. (In Russ.). DOI: 10.21266/20794304.2021.235.274-295.

Fleisher V.L., Chernaya N.V., Makarova D.S., Gordeiko S.A., Germas' A.V. Synthesis of new polymers based on rosin acid amides for strengthening waste paper. *Trudy BSTU. Ser. 4: Khimiya, Tekhnologiya Organicheskikh Veshchestv, Biotekhnologiya*, 2014, no. 4 (168), pp. 134–136. (In Russ.)

Fleisher V.L., Chernaya N.V. Modified rosin: production, properties, application. Minsk: BGTU, 2019. 304 p. (In Russ.)

Golovin A.I., Trofimov A.N., Uzlov G.A., Zhukova I.P., Kiprianov A.I., Prokhorchuk T.I., Kovalev V.E. Wood chemical byproducts of the sulfate pulping production. Moscow: Lesn. prom-st', 1988. 288 p. (In Russ.)

Gordeiko S.A., Chernaya N.V., Zholnerovich N.V., Fleisher V.L., Makarova D.S. Specificities of the application of polycondensation products of adipic acid with diethylenetriamine and rosin acids in the paper technology. *Trudy BSTU. Ser. 4: Khimiya, Tekhnologiya Organicheskikh Veshchestv, Biotekhnologiya*, 2014, no. 4 (168), pp. 130–133. (In Russ.)

Gordeiko S.A., Chernaya N.V., Shishakov E.P. Reinforcement of scrap paper and recycled cardboard sized in acidic, neutral and weakly alkaline media. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2015, no. 5, pp. 165–173. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.5.165. (In Russ.)

Hiscock K., Krajca K. Rosin ester handbook. Almere: Arizona Chemical – International Paper, 2007. 175 p.

*Kurzin A.V., Evdokimov A.N.* Pour point depressants for fuels based on tall oil fatty acid esters. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 196–203. (In Russ.). DOI: 10.21266/20794304.2021.237.196-203.

*Luo Y., Grigoriev V., Lu C., Rosencrance S.* Paper and methods for production of paper. Patent RU 2581862. 2016. (In Russ.)

*Marten M., Kamutzki W.* Aqueous solutions of polyamidoamine-epichlorohydrin resins, and preparation and use thereof. Patent US 5019606. 1991.

*Papkov V.N., Rivin E.M., Blinov E.V.* Styrene-butadiene rubbers. Synthesis and properties. Voronezh: VGUIT, 2015. 313 p. (In Russ.)

*Varankina G.S., Rusakov V.S.* Modification of phenol-formaldehyde resin by by-products of sulfate pulp production. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii*, 2013, iss. 204, pp. 130–137. (In Russ.)

*Zagidullin R.N., Rasulev Z.G., Abdrafikova L.S., Guryanov V.E., Sarana N.V., Skachkov A.S.* Method for preparation of amidoepichlorohydrin resin. Patent RU 2065454. 1996. (In Russ.)

*Zhuravlev P.I.* Rosin, turpentine, and their processing products. Moscow: Lesn. prom-st', 1988. 71 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 07.08.2024*

---

**Курзин А.В., Пискунов К.А., Таразанов А.А., Евдокимов А.Н., Корочинский А.Ю.** Полиамидоамин-эпихлоргидриновые смолы на основе диспропорционированной талловой канифоли // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 282–292. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.282-292*

С целью расширения областей применения диспропорционированной талловой канифоли с низким значением цветности по шкале Гарднера и для получения проклеивающих составов (катионных клеев) для бумаги и картона синтезированы полиамидаминоновые и полиамидоамин-эпихлоргидриновые смолы. Получение полиамидаминовой смолы на основе диспропорционированной талловой канифоли, адипиновой кислоты, диэтилентриамина и 2-аминоэтанола осуществляли в вакууме, при температуре 140–150 °С в течение 7 ч, а присоединение эпихлоргидрина к полиамидоамину и получение полиамидоамин-эпихлоргидриновой смолы – при 40–60 °С в течение 1 ч. Установлено, что 20%-ные растворы полиамидаминовой и полиамидоамин-эпихлоргидриновой смол стабильны при хранении в течение 30 суток при температуре 20–24 °С, динамическая вязкость при 25 °С составила 105 и 114 мПа·с соответственно. Цвет 50%-ных растворов ухудшился незначительно по сравнению с исходной диспропорционированной талловой канифолью – не более 3 по шкале Гарднера.

**Ключевые слова:** диспропорционированная талловая канифоль, диэтилентриамин, адипиновая кислота, эпихлоргидрин, полиамидаминовая смола, полиамидоамин-эпихлоргидриновая смола.

**Kurzin A.V., Piskounov K.A., Tarazanov A.A., Evdokimov A.N., Korochinskiy A.Yu.** Polyamidoamine-epichlorohydrin resins based on disproportionated tall oil rosin. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 282–292 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.282-292

In order to expand the areas of application of disproportionated tall oil rosin with a low color value on the Gardner scale and to obtain the sizing compositions (cationic sizes) for paper and cardboard, the polyamidoamine and polyamidoamine-epichlorohydrin resins have been synthesized. The synthesis of polyamidoamine resin based on disproportionated tall oil rosin, adipic acid, diethylenetriamine, and 2-aminoethanol was carried out in vacuum at 140–150 °C for 7 hours, the addition of epichlorohydrin to polyamidoamine and the preparation of polyamidoamine-epichlorohydrin resin – at 40–60°C for 1 hour. It was found that 20% solutions of polyamidoamine and polyamidoamine-epichlorohydrin resins are stable when stored for 30 days at 20–24 °C, the dynamic viscosity at 25 °C was 105 and 114 mPa·s, respectively. The color of 50% solutions deteriorated slightly compared to the original disproportionated tall oil rosin not more 3 on the Gardner scale.

**Keywords:** disproportionated tall oil rosin, diethylenetriamine, adipic acid, epichlorohydrin, polyamidoamine resin, polyamidoamine-epichlorohydrin resin.

---

**КУРЗИН Александр Вячеславович** – доцент кафедры органической химии Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат химических наук. ORCID: 0000-0001-6108-041X. SCOPUS AuthorID: 6602875595.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: zakora@mail.ru

**KURZIN Aleksandr V.** – PhD (Chemical), Assistant Professor of the Organic Chemistry Department, Higher School of Technology and Energetics, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0000-0001-6108-041X. SCOPUS AuthorID: 6602875595.

198095, Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: zakora@mail.ru

**ПISКУНОВ Кирилл Александрович** – генеральный директор ООО «Янтарный поток».

165650, ул. имени Дыбцына, д. 42, г. Коряжма, Архангельская обл., Россия; директор по эффективности и развитию лесохимии АО «Группа «Илим». ORCID: 0009-0009-6163-3446.

191025, ул. Марата, д. 17, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: kir\_us@mail.ru

**PISKOUNOV Kirill A.** – CEO of Amber Stream LLC. 165650. Dybtsyna str. 42. Koryazhma. Arkhangelsk Region. Russia; Excellence and Development Director, Forest Chemicals, JSC Ilim Group. ORCID: 0009-0009-6163-3446.

191025. Marata str. 17. St. Petersburg. Russia. E-mail: kir\_us@mail.ru

**ТАРАЗАНОВ Алексей Александрович** – старший преподаватель кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. ORCID: 0009-0005-0722-6023. SCOPUS AuthorID: 57885562200.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: tarazanov-567@mail.ru

**TARAZANOV Aleksey A.** – Senior Lecturer of the Technology of Cellulose and Composite Materials Department, Higher School of Technology and Energetics, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0009-0005-0722-6023. SCOPUS AuthorID: 57885562200.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: tarazanov-567@mail.ru

**ЕВДОКИМОВ Андрей Николаевич** – заведующий кафедрой материаловедения и технологии машиностроения Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доцент, кандидат химических наук. SPIN-код: 6931-6240. ORCID: 0000-0003-1419-9017. SCOPUS AuthorID: 7006217216. WoS ResearcherID: G-5637-2016.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: eanchem@mail.ru

**EVDOKIMOV Andrey N.** – PhD (Chemical), Head of the Department of Materials Science and Engineering Technology, Higher School of Technology and Energetics, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Assistant Professor. SPIN-code: 6931-6240. ORCID: 0000-0003-1419-9017. SCOPUS AuthorID: 7006217216. WoS ResearcherID: G-5637-2016.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: eanchem@mail.ru

**КОРОЧИНСКИЙ Александр Юрьевич** – студент кафедры органической химии Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. ORCID: 0009-0009-0170-4863.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: korochinskii.s@gmail.com

**KOROCHINSKIY Aleksandr Yu.** – Student, Organic Chemistry Department, Higher School of Technology and Energetics, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0009-0009-0170-4863.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: korochinskii.s@gmail.com

Д.Л. Байдаков, О.П. Ковалева, А.В. Шелоумов, А.В. Фельгендлер

**ХАЛЬКОГЕНИДНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ  
ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТАЛЛИЯ И РТУТИ  
В ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОДАХ**

*Введение.* В Санкт-Петербургской государственной Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете им. С.М. Кирова и институте медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» были проведены совместные исследования по изучению электрохимических свойств халькогенидных тонкопленочных ионоселективных электродов (ИСЭ), чувствительных в водных растворах к катионам  $Zn^{2+}$  [Байдаков и др., 2024а] и  $Cd^{2+}$  [Байдаков и др., 2024б].

Решение задач по получению перспективных аморфных ИСЭ возможно с привлечением новых материалов с полупроводниковыми свойствами, в частности, халькогенидных пленок сложного состава, содержащих галогениды различных металлов (меди, серебра, свинца, марганца, цинка, кадмия, железа и др.). Получение некристаллических полупроводниковых пленок контролируемого и воспроизводимого состава, идентичных с составом исходных халькогенидных стекол, открывает возможность использования халькогенидных пленок в качестве материалов для оптоэлектроники и мембран ИСЭ [M. Fumar et al., 2006], создания белковых биочипов [Васильева и др., 2014а], а также двумерных матричных структур, чувствительных к белкам, для применения в биочипах [Васильева и др., 2014б].

Известно, что соли таллия и ртути являются ядами для человека. Присутствие таллия приводит к облысению [Осоловская и др., 2013], а ртуть накапливается в организме и вызывает острые хронические отравления [Шинетова, Бекеева, 2017]. Таким образом, непрерывный мониторинг содержания солей таллия и ртути в природных водах, а также других объектах жизнедеятельности человека является крайне актуальной задачей.

*Цель работы.* Получение, прогнозирование и исследование электродных свойств тонкопленочных халькогенидных ИСЭ на основе мембран  $Tl-PbI_2-As_2Se_3$  и  $HgI_2-PbI_2-As_2Se_3$  для потенциометрического определения содержания таллия и ртути в водных растворах.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) синтез халькогенидных стекол  $\text{TlI-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  и  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ ;
- 2) нанесение пленок из растворов стекол в *n*-бутиламине;
- 3) исследование электродных характеристик мембран на основе пленок  $\text{TlI-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ ;  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ .

*Материалы и методика исследования.* Синтез халькогенидных стекол  $\text{TlI-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  и  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  проводили с использованием реактивов: иодид таллия (х.ч.), иодид свинца (х.ч.), иодид ртути (х.ч.), триселенид мышьяка (о.с.ч.).

Реагенты  $\text{TlI}$ ,  $\text{PbI}_2$ ,  $\text{HgI}_2$  и  $\text{As}_2\text{Se}_3$  общей массой шихты 10 г взвешивали на аналитических весах, смесь реагентов помещали в кварцевую ампулу, запаивали ампулу и откачивали из нее воздух до давления  $10^{-4}$  Па.

Далее ампулу помещали в печь, доводили температуру печи до  $1100$  °С. По достижении указанной температуры ампулы с расплавом при постоянном перемешивании выдерживали 10–12 ч, затем производили закалику расплава в воду со льдом.

Пленки  $\text{TlI-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  и  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  наносили из растворов стекол в *n*-бутиламине. Методика нанесения пленок, содержащих иодиды металлов и  $\text{As}_2\text{Se}_3$ , подробно описана в [Baidakov et al., 2010].

Изготовление ионоселективных электродов (ИСЭ) на основе мембран халькогенидных стекол и пленок рассмотрено в работе [Baidakov, Shkol'nikov, 2019].

Ячейка для измерения ЭДС электрохимического элемента с переносом, включающая ионоселективный электрод, а также хлорсеребряный электрод сравнения, приведена в работе [Vlasov et al., 1984].

*Результаты и обсуждение.* Типичные электродные отклики при определении коэффициентов селективности методом смешанных растворов приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что полученный в работе  $\text{Hg}$ -ИСЭ на основе мембран халькогенидных пленок превосходит кристаллический аналог [Vlasov, Vuchkov, 1987], поскольку селективность пленочных халькогенидных ИСЭ достигает  $10^{-7}$  моль/л, а аналогичное значение  $\text{Hg}$ -ИСЭ на основе кристаллических мембран не ниже  $10^{-5}$  моль/л. Для кристаллического  $\text{Hg}$ -ИСЭ в интервале концентраций  $10^{-5}$ – $10^{-7}$  моль/л  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  отсутствует зависимость селективности электрода от концентрации нитрата ртути. Литературных данных по селективности кристаллической пленочной мембраны к катионам  $\text{Tl}^+$  в водных растворах авторами настоящей работы не найдено.

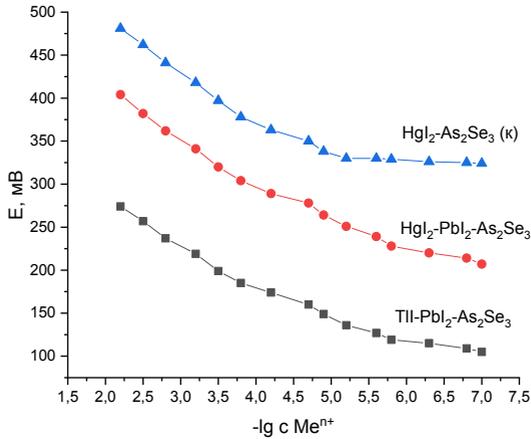


Рис. 1. Селективность Hg и Tl-ИСЭ на основе пленочных мембран  $\text{TlI-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  и  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  и кристаллического Hg-ИСЭ в 1M растворе  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$

Fig. 1. The selective function membranes on based of films  $\text{TlI-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  and mercury-selective crystalline electrode in 1M nitrate manganese

Таким образом, полученные в работе пленочные потенциометрические химические сенсоры для определения содержания катионов таллия в водных растворах являются уникальными в своем роде и не уступают по аналитическим характеристикам мембранам, чувствительным к катионам  $\text{Tl}^+$  на основе халькогенидных стекол [Vlasov, 1993], а по миниатюрности и экономичности изготовления превосходят последние.

Коэффициенты селективности к  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Tl}^+ / \text{Me}^{n+}$  халькогенидных пленочных электродов показаны в табл. 1. Из табл. 1 следует, что  $10^4$ – $10^6$ -кратные избытки катионов калия, кальция, свинца, железа и марганца в растворе практически не влияют на потенциалы тонкопленочных халькогенидных ИСЭ, чувствительных к катионам  $\text{Tl}^+$  и  $\text{Hg}^{2+}$ . Ранее [Baidakov, Shkol'nikov, 2018] было показано, что аналогичная картина наблюдается для тонкопленочных халькогенидных сенсоров, селективных в водных растворах к катионам  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ .

Типичные отклики платинового и халькогенидных пленочных электродов для определения содержания катионов  $\text{Tl}^+$  и  $\text{Hg}^{2+}$  в водных растворах нитратов таллия и ртути, а также солей  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  и  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{2-}$  аналогичной концентрации показаны на рис. 2.

Таблица 1

**Коэффициенты селективности пленочных электродов с мембранами состава 20ТlI-30PbI<sub>2</sub>-50As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, 20HgI<sub>2</sub>-20PbI<sub>2</sub>-60As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>**

**The coefficients of selectivity thin films membranes of compounds 20TlI-30PbI<sub>2</sub>-50As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, 20HgI<sub>2</sub>-20PbI<sub>2</sub>-60As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>**

Катион	C <sub>M</sub> , моль/л	Tl-ИСЭ	Hg-ИСЭ
K <sup>+</sup>	1,0	6,7 · 10 <sup>-6</sup>	7,6 · 10 <sup>-6</sup>
Ca <sup>2+</sup>	1,0	6,2 · 10 <sup>-6</sup>	6,9 · 10 <sup>-6</sup>
Pb <sup>2+</sup>	1,0	7,8 · 10 <sup>-5</sup>	8,4 · 10 <sup>-5</sup>
Fe <sup>3+</sup>	10 <sup>-4</sup>	1,6	1,4
Mn <sup>2+</sup>	1,0	1,5 · 10 <sup>-6</sup>	1,9 · 10 <sup>-6</sup>

Из рис. 2 видно, что положительные значения потенциалов пленочных электродов, селективных к катионам таллия и ртути, в растворах указанных солей значительно меньше потенциала платинового электрода (на 50–70 мВ). Значительное содержание посторонних катионов K<sup>+</sup>, а также меньшие концентрации катионов Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, образующихся в ходе вторичной диссоциации комплексных ионов в растворе, не влияют на селективность пленочных мембран.

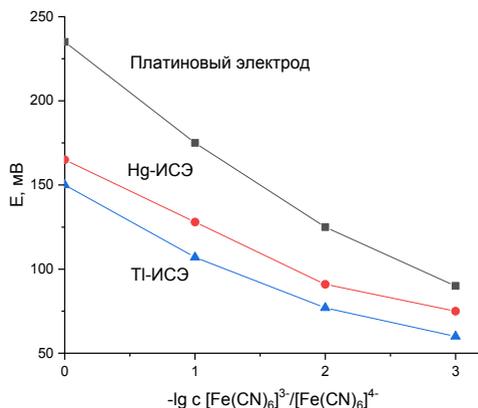


Рис. 2. Электродный отклик халькогенидных тонкопленочных электродов, селективных к катионам Tl<sup>+</sup> и Hg<sup>2+</sup> в водных растворах TlNO<sub>3</sub> и Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в присутствии солей K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> и K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>2-</sup>

Fig. 2. The electrode function of thin films chalcogenide electrodes, selective on Tl<sup>+</sup> and Hg<sup>2+</sup> cations in aquas TlNO<sub>3</sub> and Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> solutions in presents K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> and K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>2-</sup> salts

Результаты экспериментов по электродному отклику доказывают возможность использования полученных в работе тонкопленочных халькогенидных мембран в качестве ионоселективных электродов для определения содержания катионов  $Tl^+$  и  $Hg^{2+}$  в водных растворах [Vlasov, 1993].

Электродные характеристики мембран на основе пленок  $Tl-PbI_2-As_2Se_3$ ,  $HgI_2-PbI_2-As_2Se_3$  в сравнении со стеклянными халькогенидными мембранами приведены в табл. 2 и табл. 3.

Как пленочные, так и стеклянные мембраны  $Tl-PbI_2-As_2Se_3$  и  $HgI_2-PbI_2-As_2Se_3$  с высоким содержанием иодидов таллия и ртути (30–40 мол. %) показали хорошую чувствительность к катионам  $Tl^+$  и  $Hg^{2+}$ . Нернстовская область электродного отклика для таких мембран составляет  $10^{-6}$ – $10^{-1}$  моль/л, нижний предел обнаружения катионов  $Tl^+$  и  $Hg^{2+}$  достигает  $10^{-7}$  моль/л. Угловой коэффициент электродной функции близок к теоретическим значениям (59 мВ/декаду для катионов таллия и 29 мВ/декаду для катионов ртути).

Таблица 2

**Электродные характеристики мембран на основе стекол  
и пленок  $Tl-PbI_2-As_2Se_3$ .**

**Electrode parameters  $Tl-PbI_2-As_2Se_3$  membranes of films and glasses.**

Содержание Tl, мол. %	$R=[PbI_2]/[As_2Se_3]$	Материал	Угловой коэффициент функции, мВ/декаду	Нернстова область функции, моль/л	Нижний предел обнаружения катионов $Tl^+$ , моль/л
10	1/4	Пленка	37,1±0,3	–	–
		Стекло	37,3±0,3		
20		Пленка	48,0±0,3	–	–
		Стекло	48,3±0,3		
30		Пленка	58,3±0,3	$10^{-6}$ – $10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-7}$
		Стекло	58,2±0,3		
40		Пленка	59,8±0,3	$10^{-6}$ – $10^{-1}$	$10^{-7}$
		Стекло	59,5±0,3		
10	1/2	Пленка	32,6±0,3	–	–
		Стекло	32,3±0,3		
20		Пленка	43,5±0,3	–	–
		Стекло	43,3±0,3		
30		Пленка	56,5±0,3	$10^{-6}$ – $10^{-1}$	$10^{-7}$
		Стекло	56,4±0,3		
40		Пленка	58,2±0,3	$10^{-6}$ – $10^{-1}$	$10^{-7}$
		Стекло	58,4±0,3		

Таблица 3

**Электродные характеристики мембран на основе стекол  
и пленок  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$**

**Electrode parameters  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  membranes of films and glasses**

Содержание $\text{HgI}_2$ , мол. %	$R=[\text{PbI}_2]/[\text{As}_2\text{Se}_3]$	Материал	Угловой коэффициент функции, мВ/декаду	Нернстова область функции, моль/л	Нижний предел обнаружения катионов $\text{Hg}^{2+}$ , моль/л
10	1/4	Пленка	17,7±0,3	–	–
		Стекло	17,4±0,3		
20		Пленка	21,0±0,3	–	–
		Стекло	21,2±0,3		
30		Пленка	28,3±0,3	$10^{-6}\text{--}10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-7}$
		Стекло	28,2±0,3		
40		Пленка	29,5±0,3	$10^{-6}\text{--}10^{-1}$	$10^{-7}$
		Стекло	29,3±0,3		
10	1/2	Пленка	14,6±0,3	–	–
		Стекло	14,7±0,3		
20		Пленка	18,1±0,3	–	–
		Стекло	18,3±0,3		
30		Пленка	28,2±0,3	$10^{-6}\text{--}10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-7}$
		Стекло	28,4±0,3		
40		Пленка	29,1±0,3	$10^{-6}\text{--}10^{-1}$	$10^{-7}$
		Стекло	29,0±0,3		

Тl-ИСЭ и Hg-ИСЭ с содержанием иодидов таллия и ртути 30–40 мол. % в мембране проявляют высокую стабильность электродного потенциала. В течение 3 месяцев измерений дрейф стандартного потенциала электродов составлял 6–8 мВ для стеклянных мембран и 8–12 мВ для пленочных мембран. Стандартные потенциалы электродов с одинаковыми составами мембран различались не более, чем на 7–10 мВ. Аналитическое время отклика составляло 15–30 с в разбавленных и 3–5 с в концентрированных растворах  $\text{TlNO}_3$  и  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  вне зависимости от способа изготовления мембран (пленка или стекло).

Из табл. 2 и табл. 3 видно, что у пленочных и стеклянных халькогенидных мембран с содержанием Тl и  $\text{HgI}_2$  менее 30 мол. % независимо от концентрации иодида свинца в аморфном материале, нернстова область электродной функции и предел обнаружения катионов таллия и ртути отсутствуют, что делает непригодным использование данных мембран в качестве материалов ИСЭ для определения катионов  $\text{Tl}^+$  и  $\text{Hg}^{2+}$  в водных растворах.

*Выводы.* Впервые получены потенциометрические сенсоры для определения содержания катионов  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Hg}^{2+}$  в водных растворах на основе пленочных мембран систем  $\text{PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ . Нижний предел обнаружения катионов исследуемых металлов в водных растворах для мембран с высоким содержанием иодидов таллия и ртути (30–40 мол. %) достигает  $10^{-7}$  моль/л, а нернстова область электродной функции для мембран составляет  $10^{-6}$ – $10^{-1}$  моль/л.

Из полученных экспериментальных результатов следует, что электродные свойства потенциометрических сенсоров на основе пленок  $\text{PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  определяются в основном высоким содержанием иодидов таллия и ртути в халькогенидной мембране  $\text{As}_2\text{Se}_3$  и в меньшей степени содержанием иодида свинца. При концентрации иодидов таллия и ртути 30–40 мол. % в мембранах содержание  $\text{PbI}_2$  практически не влияет на электродные свойства.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Байдаков Д.Л., Михайлова Н.В., Шелоумов А.В., Виграненко Ю.Т. Химические сенсоры на основе халькогенидных пленок  $\text{ZnI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  для определения содержания цинка в водных растворах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024а. Вып. 247. С. 315–326.

Байдаков Д.Л., Шелоумов А.В., Михайлова Н.В. Ионоселективные электроды на основе мембран халькогенидных пленок для определения содержания кадмия в водных растворах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024б. Вып. 248. С. 291–303.

Васильева А.С., Белых А.В., Клотченко С.В., Тверьянович А.С., Тверьянович Ю.С. Пленки состава  $\text{As}_{39}\text{S}_{61}$  в качестве двумерной матрицы, селективной к белкам, для применения в биочипах // Физ. хим. стекла. 2014б. Т. 40. № 4. С. 619–621.

Васильева А.С., Борисова Е.Н., Клотченко С.В., Тверьянович А.С., Тверьянович Ю.С. Стеклообразные пленки состава  $\text{Ga}_6\text{Ge}_{17}\text{S}_{77}$  в качестве подложки для биочипов // Физ. хим. стекла. 2014а. Т. 40. № 4. С. 615–618.

Осоловская Н.А., Сысуев Е.Б., Гаврунова К.С. Токсическое действие таллия на организм // Успехи современного естествознания. 2013. № 9. С. 99.

Шинетова Л.Е., Бекеева С.А. Современные представления о влиянии различных форм ртути на организм // Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2017. № 1. С. 370–373.

Baidakov D.L., Shkol'nikov E.V. Electroconductivity and Electrode Properties of Amorphous  $\text{PbS-Ag}_2\text{S-As}_2\text{S}_3$  and  $\text{PbS-AgI-As}_2\text{S}_3$  Films Deposited from Solutions of Glass in n-Butylamine // Glass Physics and Chemistry. 2019. Vol. 45, no. 5. P. 349–354.

*Baidakov D.L., Shkol'nikov E.V.* Electrode Properties of Halogenide-Chalcogenide Glasses and Amorphous Thin Films Fabricated by Chemical Deposition // *Glass Physics and Chemistry*. 2018. Vol. 44, no. 4. P. 350–355.

*Baidakov D.L., Shkol'nikov E.V., Ryseva V.A.* Electrical Conductivity of CuI–AsI<sub>3</sub>–As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> and CuI–SbI<sub>3</sub>–As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Chalcogenide Films Prepared by Chemical Deposition // *Glass Phys. and Chem.* 2010. Vol. 36, no. 5. P. 561–565.

*Frumar M., Frumarova B., Nemeč P., Wagner T., Jedelsky J., Hrdlicka M.* Thin chalcogenide films prepared by pulsed laser deposition – new amorphous materials applicable in optoelectronics and chemical sensors // *J. Non-Cryst. Solids*. 2006. Vol. 352. P. 544–561.

*Vlasov Yu.G.* Sensor R and D in the former Soviet Union // *Sensors and Actuators B*. 1993. Vol. 15–16. P. 6–15.

*Vlasov Yu.G., Bychkov E.A.* Ion-selective chalcogenide glass electrodes // *Ion-Selective Electrode Reviews*. 1987. Vol. 9, no. 1. P. 5–93.

*Vlasov Yu.G., Bychkov E.A., Legin A.V.* New lead ion-selective chalcogenide glass electrodes // *Ion-Selective Electrodes*. Vol. 4. Ed. By E.Pungor. Budapest: Akademiai Kiado, 1984. P. 657–677.

## References

*Baidakov D.L., Shkol'nikov E.V.* Electroconductivity and Electrode Properties of Amorphous PbS–Ag<sub>2</sub>S–As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> and PbS–AgI–As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> Films Deposited from Solutions of Glass in n-Butylamine. *Glass Physics and Chemistry*, 2019, vol. 45, no. 5, pp. 349–354.

*Baidakov D.L., Shkol'nikov E.V.* Electrode Properties of Halogenide-Chalcogenide Glasses and Amorphous Thin Films Fabricated by Chemical Deposition. *Glass Physics and Chemistry*, 2018, vol. 44, no. 4, pp. 350–355.

*Baidakov D.L., Shkol'nikov E.V., Ryseva V.A.* Electrical Conductivity of CuI–AsI<sub>3</sub>–As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> and CuI–SbI<sub>3</sub>–As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Chalcogenide Films Prepared by Chemical Deposition. *Glass Phys. and Chem.*, 2010, vol. 36, no. 5, pp. 561–565.

*Baidakov D.L., Sheloumov A.V., Michailova N.V.* Ion-selective electrodes on based membranes of chalcogenide films for determination cadmium concentration in aquas solutions. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi Lesotehnickeskoj Akademii*, 2024b, iss. 248, pp. 291–303. (In Russ)

*Baidakov D.L., Michailova N.V., Sheloumov A.V., Vigranenko Yu.T.* The chemical sensors on based chalcogenide films ZnI<sub>2</sub>–PbI<sub>2</sub>–As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> for determination zink concentration in aquas solutions. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi Lesotehnickeskoj Akademii*, 2024a, iss. 247, pp. 315–326. (In Russ.)

*Frumar M., Frumarova B., Nemeč P., Wagner T., Jedelsky J., Hrdlicka M.* Thin chalcogenide films prepared by pulsed laser deposition – new amorphous materials applicable in optoelectronics and chemical sensors. *J. Non-Cryst. Solids*, 2006, vol. 352, pp. 544–561.

*Osolovskaya N.A., Sysuev E.B., Gavrunova K.S.* The toxic action of thallium on human body. *Journal of advances in modern natural science*, 2013, no. 9, p. 99. (In Russ.)

Shinetova L.E., Bekeeva S.A. The modern ideas about influence of several forms mercury on human body. *The Vestnik of the Kazakh National Medical University*, 2017, no. 1, pp. 370–373. (In Russ.)

Vasilieva A.S., Belykh A.V., Klotchenko S.V., Tveryanovich A.S., Tveryanovich Yu.S. As<sub>39</sub>S<sub>6</sub> films as protein-selective two-dimensional arrays for biochips. *Glass Physics and Chemistry*, 20146, vol. 40, pp. 470–471. (In Russ.)

Vasilieva A.S., Borisova E.N., Klotchenko S.V., Tveryanovich A.S., Tveryanovich Yu.S. Vitreous films of Ga<sub>6</sub>Ge<sub>17</sub>S<sub>77</sub> composition as a biochip substrate. *Glass Physics and Chemistry*, 2014a, vol. 40, pp. 467–469. (In Russ.)

Vlasov Yu.G. Sensor R and D in the former Soviet Union. *Sensors and Actuators B*, 1993, vol. 15–16, pp. 6–15.

Vlasov Yu.G., Bychkov E.A. Ion-selective chalcogenide glass electrodes. *Ion-Selective Electrode Reviews*, 1987, vol. 9, no. 1, pp. 5–93.

Vlasov Yu.G., Bychkov E.A., Legin A.V. New lead ion-selective chalcogenide glass electrodes// *Ion-Selective Electrodes*. Vol. 4. Ed. By E.Pungor. Budapest: Akademiai Kiado, 1984, pp. 657–677.

Материал поступил в редакцию 21.11.2024

**Байдаков Д.Л., Ковалева О.П., Шелоумов А.В., Фельгендлер А.В.** Халькогенидные потенциометрические тонкопленочные сенсоры для определения содержания таллия и ртути в природных и сточных водах // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2025. Вып. 253. С. 293–303. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.293-303

Потенциометрические ионоселективные электроды на основе мембран халькогенидных стекол и пленок обладают важными свойствами. Минимальный предел обнаружения катионов металлов в водных растворах составляет  $10^{-7}$  моль/л, воспроизводимость электродной функции лежит в пределах  $10^{-6}$ – $10^{-1}$  моль/л. Стекла  $\text{III-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  и  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  синтезировали с использованием следующих реактивов: иодид таллия, иодид ртути (II), иодид свинца квалификации х.ч., триселенид мышьяка квалификации о.с.ч. Синтез стекол осуществляли при максимальной температуре 1100 °С в вакуумированных кварцевых ампулах с остаточным давлением  $10^{-4}$  Па. При достижении 1100 °С ампулы с расплавом шихты при постоянном перемешивании выдерживали 4–6 ч, затем производили закалку расплава в воду со льдом. Пленки указанных составов наносили из растворов стекол в *n*-бутиламине. Впервые получены химические потенциометрические сенсоры на основе халькогенидных пленочных мембран  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{III-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  для определения содержания иодидов таллия (I) и ртути (II) в катионной форме. Установлено, что электродные свойства потенциометрических химических сенсоров на основе пленок  $\text{III-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{HgI}_2\text{-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$  определяются в основном высоким содержанием иодидов таллия (I) и

ртути (II) в халькогенидной мембране  $As_2Se_3$  и в меньшей степени содержанием иодида свинца. При концентрации иодидов таллия (I) и ртути (II) 30–40 мол. % в мембранах содержание  $PbI_2$  практически не влияет на электродные свойства.

**Ключевые слова:** халькогенидные потенциометрические сенсоры, таллий и ртуть, тонкопленочные ионоселективные электроды.

**Baidakov D.L., Kovaleva O.P., Sheloumov A.V., Felgendler A.V.** The chalcogenide chemical sensors on based thin films for determination of  $Tl^+$  and  $Hg^{2+}$  cations in fabricated and nature waters. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 293–303 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.293-303

Potentiometric ion-selective electrodes based on chalcogenide glass membranes and films have important properties. The minimum detection limit of metal cations in aqueous solutions is  $10^{-7}$  mol/l, the reproducibility of the electrode function is within  $10^{-6}$ – $10^{-1}$  mol/l. Glasses  $TlI-PbI_2-As_2Se_3$  and  $HgI_2-PbI_2-As_2Se_3$  were synthesized using reagents thallium iodide, mercury (II) iodide, lead iodide of chemically pure grade, arsenic triselenide of special purity grade. Glass synthesis was carried out at a maximum temperature of 1100 °C in evacuated quartz ampoules with a residual pressure of  $10^{-4}$  Pa. Upon reaching 1100 °C, the ampoules with the batch melt were kept under constant stirring for 4–6 hours, then the melt was quenched in water with ice. Films of the specified compositions were applied from glass solutions in n-butylamine. For the first time, chemical potentiometric sensors based on chalcogenide film membranes  $HgI_2-PbI_2-As_2Se_3$ ,  $TlI-PbI_2-As_2Se_3$  were obtained for determining the content of thallium (I) and mercury (II) iodides in cationic form. It has been established that the electrode properties of potentiometric chemical sensors based on  $TlI-PbI_2-As_2Se_3$ ,  $HgI_2-PbI_2-As_2Se_3$  films are determined mainly by the high content of thallium (I) and mercury (II) iodides in the chalcogenide membrane  $As_2Se_3$ , and to a lesser extent by the content of lead iodide. At a concentration of thallium (I) and mercury (II) iodides of 30–40 mol. % in membranes, the content of  $PbI_2$  has virtually no effect on the electrode properties.

**Key words:** chalcogenide potentiometric sensors, thallium and mercury thin-film ion-selective electrodes.

---

**БАЙДАКОВ Дмитрий Леонидович** – преподаватель кафедры химии Санкт-Петербургской государственной военно-медицинской академии, кандидат химических наук.

194044, Пироговская наб., д. 1, Санкт-Петербург, Россия;

доцент кафедры химии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: chemwood@rambler.ru

**BAIDAKOV Dmitry L.** – PhD (Chemistry), Lecturer at the Department of Chemistry, St. Petersburg Military State Academy.

194044, Pirogovskaya emb. 1. St. Petersburg. Russia;

Associate Professor of the Department of Chemistry, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: chemwood@rambler.ru

**КОВАЛЕВА Ольга Петровна** – доцент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук, доцент.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: olga.kovaleva.cbp@ya.ru

**KOVALEVA Olga P.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Technology of Wood and Cellulose Composite Materials, St.Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: olga.kovaleva.cbp@ya.ru

**ШЕЛОУМОВ Андрей Валентинович** – заведующий кафедрой технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: wood-plast@mail.ru

**SHELOUMOV Andrey V.** – DCs (Technical), Head of the Department of Technology of Wood and Cellulose Composite Materials, St.Petersburg State Forest Technical University, Professor.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: wood-plast@mail.ru

**ФЕЛЬГЕНДЛЕР Алина Викторовна** – доцент кафедры химии Санкт-Петербургской государственной военно-медицинской академии, кандидат химических наук, доцент.

194044, Пироговская наб., д. 1, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Avffva@mail.ru

**FELGENDLER Alina V.** – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry, St. Petersburg Military State Academy, Associate Professor.

194044. Pirogovskaya emb. 1. St. Petersburg. Russia. E-mail: Avffva@mail.ru

**А.В. Вураско, М.А. Пепелин, А.Н. Пермяков, Ю.Г. Атаева,  
С.А. Самородов, М.А. Агеев, А.Л. Шерстобитов, В.П. Сиваков,  
И.А. Губанов**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВАРОЧНО-ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ДОБАВОК ПРИ СУЛЬФАТНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ КОМПОЗИЦИИ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ**

*Введение.* В Российской Федерации целлюлозно-бумажная промышленность для совместной варки использует древесину березы и осины. Эти породы отличаются плотностью (береза – 460–570 кг/м<sup>3</sup>; осина – 370–400 кг/м<sup>3</sup>), компонентным составом, морфологическим и анатомическим строением, в частности, длиной волокон [Азаров и др., 2010]. Как отмечено в работе [Бобров и др., 1984], в начале варочного процесса осиновая щепа из-за меньшей плотности поглощает больше щелочи по сравнению с березовой щепой, и последняя хуже проваривается, приводя к получению непровара. В то же время целлюлоза из древесины осины, находясь в жестких условиях варки, подвергается щелочной деградации, разрушается до кислот, которые дополнительно обедняют варочный раствор щелочными компонентами.

Прокшин и др. [2008] показали, что в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) в виде добавок смеси олеиновой и абиетиновой кислот (50:50) и синтетического диспергатора ДС происходит повышение скорости диффузии лигнина и смолистых веществ в целлюлозных волокнах из плотных и толстых клеточных стенок древесины березы на стадии подъема температуры, по сравнению с осиновой древесиной, при совместных сульфатных варках березовой и осиновой щепы.

Для ускорения пропитки щепы из древесины березы Ковтун и Хакимов [2009] использовали ПАВ, в частности, Неонол и ОС-20 для улучшения смачиваемости поверхности щепы за счет снижения поверхностного натяжения варочного раствора.

В работе [Теплоухова и др., 2020] исследовано влияние добавки Infinity DA 2723 в варочный раствор на результаты сульфатной варки целлюлозы из березовой щепы. Установлено, что добавка способствует ускорению процесса делигнификации целлюлозы, а эффективность действия добавки зависит от режима варки.

Также ПАВ при варке используют для снижения «смоляных затруднений», которые возникают при переработке целлюлозы лиственных пород [Печурина и др., 2003; Хакимова и др., 2017, 2018а], и особенно целлюлозы, полученной при совместной варке древесины березы и осины [Хакимова и др., 2018б]. Это обусловлено тем, что в лиственных породах жирные кислоты преимущественно содержатся в вертикальной (тяжевой и осевой) лучевой паренхиме, которой в количественном отношении значительно больше, чем у хвойных пород [Азаров и др., 2010]. Мелкие частицы смолы способны забивать поры паренхимных клеток, что приводит к невозможности их удаления из волокна. Скопление же больших частиц может послужить «центром нарастания» агрегатов, которые впоследствии осадут на оборудовании [Смит и др., 2019].

Краткий обзор наиболее значимых работ по влиянию ПАВ на сульфатную варку лиственных пород древесины и их композиции показывает, что ПАВ необходимы на стадии пропитки и начальном этапе варки для снижения поверхностного натяжения варочного раствора, ускорения проникновения варочного раствора в плотные слои клеток древесины березы, что ускоряет стадию пропитки. Рассмотренные в обзоре ПАВ широко применяются в различных отраслях промышленности или являются сопутствующими продуктами целлюлозно-бумажной промышленности. Они не разработаны специально для технологий целлюлозы и не обладают комплексностью свойств для выработки целлюлозы и бумаги. Одним из вариантов решения задачи является разработка и применение варочно-диспергирующих добавок (ВДД) отечественного производства, например, компании НАЛКО. ВДД предназначены для улучшения смачиваемости щепы и ускорения пропитки, повышения выхода (в том числе за счет снижения количества непровара), уменьшения содержания остаточного лигнина и смолистых веществ. Они приводят к повышению выхода и качества технической целлюлозы при варке композиции лиственных пород древесины, что является актуальной задачей.

Цель работы заключается в оценке влияния ВДД на выход, степень делигнификации и количественное содержание смолы при сульфатных варках смеси щепы из древесины осины и березы (50:50).

*Методика исследования.* В качестве сырья использовали щепу из древесины осины и березы, полученную в производственных условиях. В лаборатории технологическую щепу дополнительно сортировали по размерам, удаляли кору, гниль и т.п.

Сульфатные варки проводили в автоклавах вместимостью 0,33 л, помещенных в термостат. В автоклав помещали воздушно сухую щепу древесины березы и осины (вперемешку по 31 г а. с. щепы каждой породы, суммарно 62 г а.с.д.). Заливку щелоков осуществляли одновременно для всех автоклавов. Варки проводили по одинаковому температурному и временному режиму: подъем температуры до 175 °С – 40 мин, варка при 175 °С – 180 мин. [Бобров и др., 1984]. Расход активной щелочи на варку – 15% ед. Na<sub>2</sub>O от а.с.д. Сульфидность белого щелока – 25%. Гидромодуль варки – 4,0.

Расход ВДД, по рекомендациям производителя добавок, – 0,8 кг на тонну а.с.д. Варки с каждой варочно-промывной добавкой проводили в двух параллелях. Для контроля применяли варки без добавок.

В работе использованы следующие ВДД:

1. Синалаб 74418 и 2. Синалаб 74418SR – добавки для варки целлюлозы и пропитки щепы. При варке ускоряют проникновение варочного раствора в древесную щепу, способствуя равномерному провару и сокращению отходов. Содержат запатентованную композицию ПАВ, специально разработанную для диспергирования древесных смол, что способствует обессмоливанию целлюлозы;

3. Синалаб 63602 – смесь ПАВ и вспомогательных химикатов, разработанная для применения в качестве добавки для фибрилляции волокна как в цехах приготовления целлюлозы и макулатуры, так и при размоле перед картоно- и бумагоделательными машинами;

4. Синалаб 74393 – смесь ПАВ и диспергаторов, разработанная для диспергирования загрязняющих смоляных веществ в системах производства целлюлозы и бумаги;

5. Синалаб PP10-3152 – смесь ПАВ и диспергаторов, специально разработанная для диспергирования загрязняющих смоляных веществ в системах производства целлюлозы. Реагент особенно эффективен для удаления экстрактивных веществ на стадиях промывки целлюлозы;

6. Химический реагент СИНАЛАБ® 8683 представляет собой маловязкую смесь неионных и анионных ПАВ и хелатирующих агентов, разработанную для борьбы с широким спектром загрязняющих веществ. Обладает высокой эффективностью в предотвращении отложений древесной смолы, органических липких загрязнений и загрязнений, вызванных использованием вторичного волокна;

7. Синалаб 74415; 8. Синалаб 74415BX; 9. Синалаб 72101; 10. Синалаб 72151 – экспериментальные диспергаторы для производства целлюлозы, бумаги и картона.

По окончании варки автоклавы охлаждали до 75–80 °С, снижали избыточное давление до атмосферного, отделяли отработанный варочный раствор, переносили техническую целлюлозу в емкость, где её разбавляли водой (75 °С) до концентрации 4%. Промывку проводили на воронке Бюхнера с тканевым фильтром сначала горячей водой (75±2 °С), затем холодной водой до нейтрального значения рН.

Определение жесткости целлюлозы по перманганатному числу проводили в соответствии с ГОСТ 10070 (ИСО 302–81) «Метод определения степени делигнификации». Содержание экстрактивных веществ определяли в соответствии с ГОСТ 6841 «Метод определения смол и жиров», в качестве экстрагента использовали хлористый метилен.

Дисперсное состояние смоляных частиц в целлюлозе определяли микроскопическим методом с использованием светового автономного микроскопа Микромед Р-1 (LED) с видеоокуляром TourCam 5.:MP (препараты рассматривали на окуляре WF16X и объективе S40×0,65) при помощи программного обеспечения «Tour View». Метод заключается в окрашивании частиц смолы спирто-ацетоновым раствором препарата судан-III [Селиванов, 2003] и оценке ее дисперсионного состояния. В соответствии с дисперсностью частиц смолу распределяли на группы: диспергированная, коагулированная, внутриволоконная [Смит и др., 2019].

*Результаты исследования.* Влияние ВДД оценивали по выходу технической целлюлозы, жесткости, массовой доле экстрактивных веществ и дисперсному состоянию смолы в целлюлозной массе. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Для сравнения в качестве контроля проводили сульфатную варку без добавок. В результате получена целлюлоза с выходом 49,8% от а.с.с., жесткостью 10,5 ед. Каппа, содержанием экстрактивных веществ 1,0% от а.с.с. Эти результаты были приняты как контрольные, и все последующие результаты экспериментов сравнивали с контрольными значениями.

Показатели выхода, жесткости технической целлюлозы и количество экстрактивных веществ со всеми ВДД находятся в статистически значимых диапазонах.

Из представленных результатов (табл. 1) видно, что применение всех добавок привело к снижению содержания массовой доли экстрактивных веществ в технической целлюлозе от 0,2 до 0,5% по отношению к контрольной варке (1,0% от а.с.с.). Однако результаты по выходу технической целлюлозы и жесткости неоднозначны.

Таблица 1

**Результаты сульфатных варок смеси древесины лиственных пород  
(50% щепа из березы и 50% щепа из осины)  
с варочно-диспергирующими добавками**

**Results of sulfate brews of a mixture of hardwood (50% birch chips  
and 50% aspen chips) with cooking and washing additives**

№	Образец	Выход технической целлюлозы, % от а.с.с.	Жесткость, ед. Каппа	Содержание экстрактивных веществ, % от а.с.с.
	вид			
	Контроль	49,8±0,5	10,5±0,2	1,0
1	Синалаб 74418	↑50,2±0,5	↑11,9±0,2	↓0,8
2	Синалаб 74418SR	↑50,9±0,5	↑10,9±0,2	↓0,7
3	Синалаб 63602	↓49,1±0,5	↑11,2±0,2	↓0,6
4	Синалаб 74393	↓49,0±0,5	↑11,3±0,2	↓0,5
5	Синалаб РР10-3152	↓49,3±0,5	↓10,4±0,2	↓0,7
6	СИНАЛАБ® 8683	↑50,5±0,5	↓10,3±0,2	↓0,6
7	Синалаб 74415	↑52,0±0,5	↓10,4±0,2	↓0,7
8	Синалаб 74415ВХ	↑51,2±0,5	↑11,0±0,2	↓0,6
9	Синалаб 72101	↑51,0±0,5	↑11,1±0,2	↓0,7
10	Синалаб 72151	↑61,3±0,5	↑10,8±0,2	↓0,6

*Примечание:* \* Стрелками ↓↑ обозначено влияние ВДД на показатели варки: ↑ – увеличение показателя; ↓ – снижение показателя по сравнению с контрольной варкой

Лучший результат показал экспериментальный образец 10 (Синалаб 72151): выход увеличился на 11,5% при незначительном увеличении жесткости (0,3 ед. Каппа). Далее следует экспериментальный образец 7 (Синалаб 74415): увеличение выхода составляет 2,2% при незначительном снижении жесткости (0,1 ед. Каппа). Применение химического реагента СИНАЛАБ® 8683 (образец 6) одновременно позволило увеличить выход на 0,7% и снизить жесткость на 0,2 ед. Каппа по сравнению с контрольной варкой. При варке с образцами 10, 7 и 6 целлюлозная масса не содержит непровара; это свидетельствует о том, что компоненты, входящие в состав добавок, обладают сродством к плотной клеточной стенке древесины березы и способствуют более быстрому проникновению варочного раствора в ткань древесины, локализации активных компонентов на поверхности во время пропитки и ак-

тивной делигнификации во время варки. В то же время увеличение (или сохранение) выхода может обуславливаться наличием «защитных» компонентов по отношению к углеводному комплексу древесины осины. Вероятно, применение добавок 10, 7 и 6 приводит к «выравниванию» интенсивности делигнификации древесины пород с различной плотностью.

Далее рассмотрим образцы добавок, при варке которых происходит увеличение выхода за счет сохранения жесткости в заданных условиях варки. Это образцы 8 (Синалаб 74415BX), 9 (Синалаб 72101), 2 (Синалаб 74418SR), 1 (Синалаб 74418): выходы повышаются на 1,4/1,2/1,1/0,4% при увеличении жесткости на 0,5/0,6/0,4/1,4 ед. Каппа соответственно по сравнению с контролем. Техническая целлюлоза не содержит непровара, что свидетельствует о «выравнивании» интенсивности делигнификации разных по плотности пород, но при этом снижении ее эффективности в заданных условиях варки.

Снижение выхода на 0,5% за счет непровара при одновременном снижении жесткости на 0,1 ед. получено при использовании образца 5 (Синалаб РР10-3152).

Низкая избирательность по лигнину в заданных условиях варки наблюдается для образцов 3 (Синалаб 63602) и 4 (Синалаб 74393): выход снижается на 0,7 и 0,8%, а жесткость увеличивается на 0,7 и 0,8 ед. Каппа, но достигается высокая доля удаления экстрактивных веществ (0,4 и 0,5% соответственно) по сравнению с контролем. Данные добавки лучше использовать при промывке.

Эффективность действия ВДД на дисперсное состояние смолы в целлюлозной массе оценивали микроскопически по наличию диспергированной, капсулированной и коагулированной смолы. Результаты представлены на рис. 1–11.

На рис. 1 представлены микрофотографии волокон целлюлозы контрольного образца.

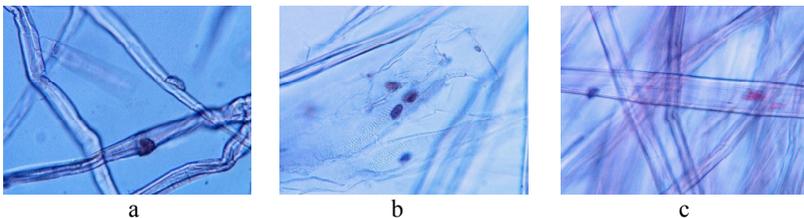


Рис. 1. Микрофотографии целлюлозы контрольного образца

Fig. 1. Micrographs of the control sample

Из рис. 1 следует, что при контрольной варке смола преимущественно находится в коагулированном состоянии на поверхности волокон либриформа (рис. 1а) и сосудов (рис. 1б), а также внутри волокна (рис. 1с).

Волокна и сосуды целлюлозной массы, полученной при варке с добавкой Синалаб 74418 (образец 1), практически не содержат смолистых компонентов ни на поверхности, ни внутри волокон (рис. 2а, б). Можно предположить, что смолистые вещества находятся во взвешенном дисперсном состоянии (рис. 2с), что и определяет содержание смолы при экстракции 0,8% от а.с.ц.

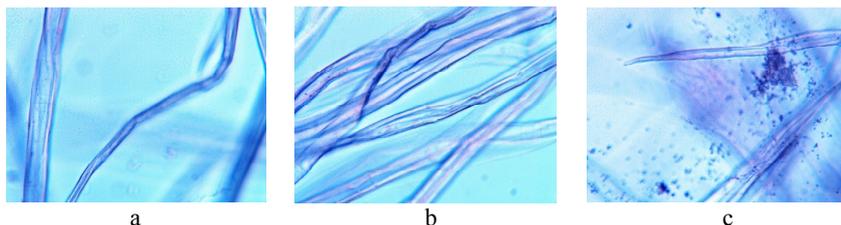


Рис. 2. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб 74418 (образец 1)

Fig. 2. Micrographs of sulfate cellulose fibers with Sinalab 74418 micrographs (sample 1)

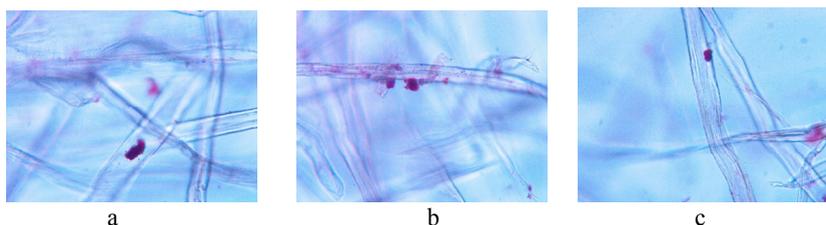


Рис. 3. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб 74418SR (образец 2)

Fig. 3. Micrographs of sulfate cellulose fibers with Sinalab 74418SR additive (sample 2)

Из микрофотографий (рис. 3) следует, что при варке с образцом Синалаб 74418SR (образец 2) смола находится в коагулированном состоянии на поверхности волокон либриформа (рис. 3а, б, с) и в диспергированном виде внутри волокон либриформа (рис. 3б).

Техническая целлюлоза при варке с добавкой Синалаб 63602 (рис. 4, образец 3) содержит коагулированную смолу различных размеров, распо-

лагающуюся у поверхности волокон (рис. 4а, б), а также диспергированную смолу внутри волокон (рис. 4с).

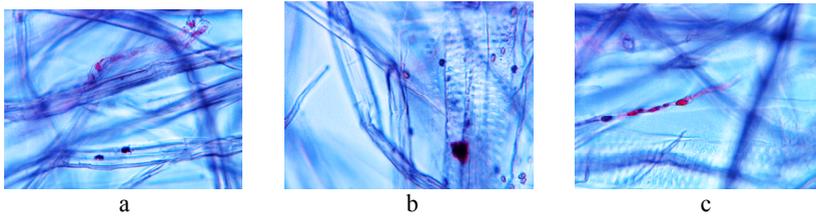


Рис. 4. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб 63602 (образец 3)

Fig. 4. Micrographs of sulfate cellulose fibers with Sinalab 63602 additive (sample 3)

Результаты микроскопии показывают, что в целлюлозе при варке с химикатом Синалаб 74393 (рис. 5, образец 4) смола присутствует преимущественно в коагулированном виде на волокнах и сосудах (рис. 5а, с); незначительная часть – в диспергированном виде (рис. 5б).

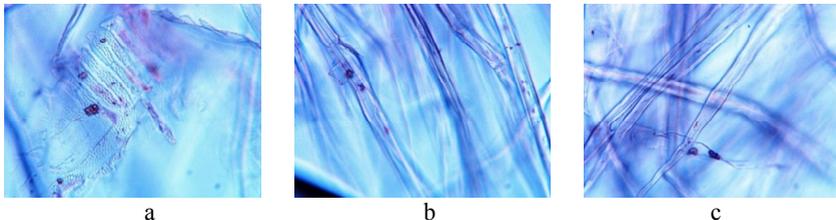


Рис. 5. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб 74393 (образец 4)

Fig. 5. Micrographs of sulfate cellulose fibers with Sinalab 74393 additive (sample 4)

Целлюлозные волокна при варке с добавкой Синалаб РР10-3152 (рис. 6, образец 5) содержат коагулированную и диспергированную смолу, расположенную преимущественно на поверхности волокон либриформа (рис. 6а, б). Сосуды практически не сорбируют смолистые вещества (рис. 6с).

Целлюлозные волокна при варке с добавкой Синалаб 8683 (рис. 7, образец 6) содержат коагулированную смолу, состоящую из большого количества шариков диспергированной смолы (рис. 7а) и некоторого количества распределённой диспергированной смолы (рис. 7б), расположенной на поверхности волокон. Сосуды практически не сорбируют смолистые вещества (рис. 7с).

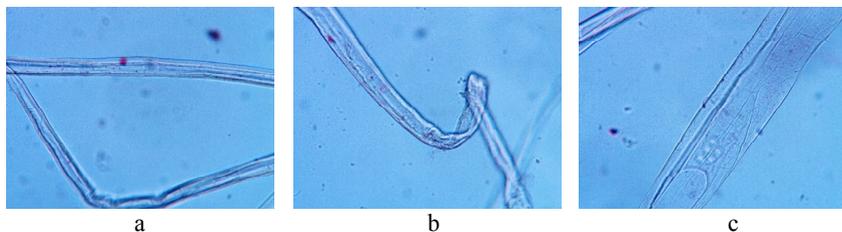


Рис. 6. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб PP10-3152 (образец 5)

Fig. 6. Micrographs of sulfate cellulose fibers with the addition of Sinalab PP10-3152 (sample 5)

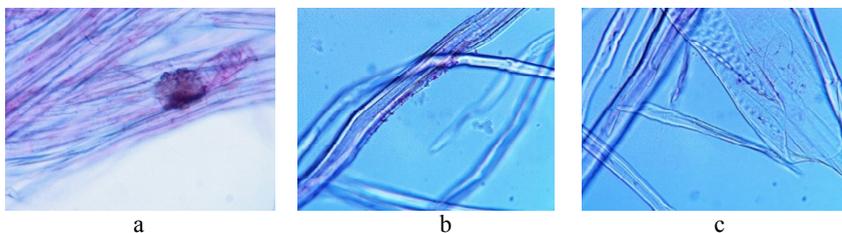


Рис. 7. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб 8683 (образец 6)

Fig. 7. Micrographs of sulfate cellulose fibers with the addition of Sinalab 8683 (sample 6)

Техническая целлюлоза при варке с добавкой Синалаб DA-15 (образец 7) содержит преимущественно диспергированную смолу (рис. 8а, б). Единично встречается коагулированная смола (рис. 8с).

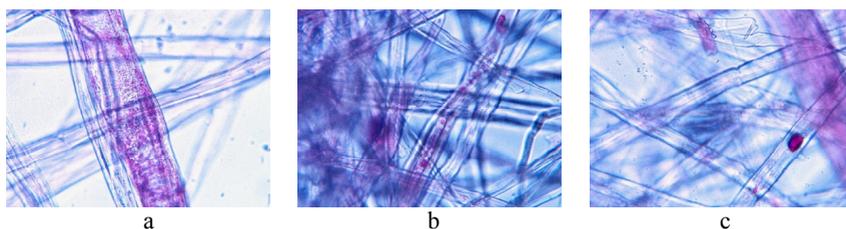


Рис. 8. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб DA-15 (образец 7)

Fig. 8. Micrographs of sulfate cellulose fibers with the addition of Sinalab DA-15 (sample 7)

В целлюлозе при варке с добавкой Синалаб ВХ (образец 8), наряду с большим количеством диспергированной смолы (рис. 9а) образец содержит коагулированную смолу внутри волокна (рисунок 9b), а также смолистые образования в виде соединенных друг с другом мелких шариков смолы разных размеров, располагающихся на поверхности (рис. 9с).

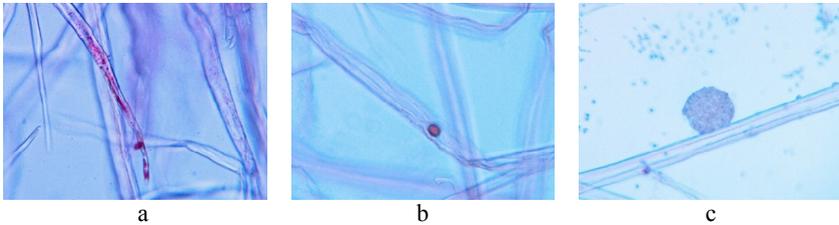


Рис. 9. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб ВХ (образец 8)

Fig. 9. Micrographs of sulfate cellulose fibers with Sinalab BX additive (sample 8)

Добавка Синалаб 2101 (образец 9) приводит к образованию свободной смолы, которая затем образует агрегаты, закрепляющиеся на поверхности волокон (рис. 10а, b) и сосудов (рис. 10с).

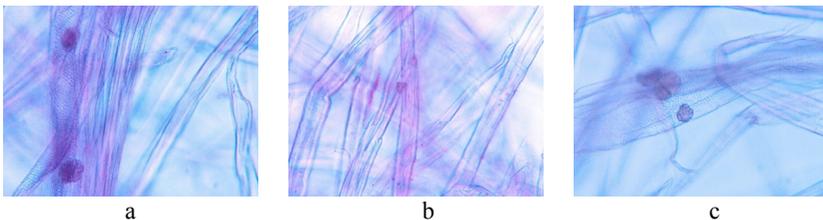


Рис. 10. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб 2101 (образец 9)

Fig. 10. Micrographs of sulfate cellulose fibers with Sinalab 2101 additive (sample 9)

Целлюлозные волокна, полученные при варке с добавкой Синалаб 2151 (рис. 11, образец 10), содержат незначительные количества диспергированной смолы (рис. 11а) и коагулированной смолы (рис. 11b, c), расположенной в узких клеточных полостях.

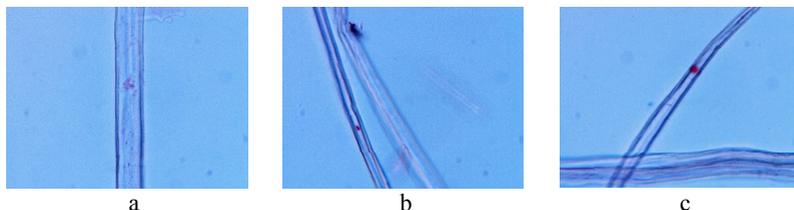


Рис. 11. Микрофотографии волокон сульфатной целлюлозы с добавкой Синалаб 2151 (образец 10)

Fig. 11. Micrographs of sulfate cellulose fibers with Sinalab 2151 additive (sample 10)

### Выводы.

1. Установлено, что все исследуемые образцы способствуют снижению экстрактивных веществ в технической целлюлозе в 1,25...2 раза по сравнению с контрольной варкой (1,0 % от а.с.ц.);

2. Установлено, что все исследуемые образцы целлюлозы не содержат капсулированной (внутриволоконной) смолы;

3. Выявлено, что образцы 10 (Синалаб 72151), 7 (Синалаб 74415) и 6 (СИНАЛАБ® 8683) способствуют одновременному увеличению выхода и снижению жесткости по сравнению с контрольной варкой. Целлюлозная масса не содержит непровара. Композиционный состав этих добавок способствует «выравниванию» интенсивности делигнификации древесины пород с различной плотностью. Целлюлозная масса содержит преимущественно коагулированную и в незначительных количествах диспергированную смолу. Применение этих ВДД при варках композиции лиственных пород древесины наиболее перспективно;

4. Показано, что применение добавок в образцах 8 (Синалаб 74415BX), 9 (Синалаб 72101), 2 (Синалаб 74418SR) и 1 (Синалаб 74418) приводит к повышению выхода, отсутствию непровара при одновременном увеличении жесткости целлюлозы за исключением образца 5 (Синалаб PP10-3152). Такие результаты свидетельствуют о «выравнивании» и снижении интенсивности делигнификации. При использовании добавки Синалаб 74418 (образец 1) целлюлоза содержит только диспергированную смолу, а при использовании остальных ВДД наблюдается наличие и коагулированной, и диспергированной смолы в различных соотношениях. Для улучшения результатов необходим подбор условий пропитки, варки, промывки, расхода варочно-промывной добавки и соотношения композиционного состава по породам;

5. Показано, что применение образцов 3 (Синалаб 63602) и 4 (Синалаб 74393) при варке приводит к снижению избирательности по лигнину: жесткость увеличивается на 0,7 и 0,8 ед. Каппа, но достигается высокая

доля удаления экстрактивных веществ (0,4 и 0,5% соответственно) по сравнению с контролем. При анализе дисперсного состава смолистых веществ наряду с диспергированной обнаруживается коагулированная смола различных размеров на поверхности волокон. Данные добавки эффективнее использовать при промывке.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник. СПб.: СПбЛТА, 2010. 624 с.

Бобров А.И., Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Малышкина В.К. Производство волокнистых полуфабрикатов из лиственной древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.

Ковтун Т.Н., Хакимов Р.Р. Использование обессмоливающих веществ при варке лиственной сульфатной целлюлозы // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 37–41.

Печурина Т.Б., Миловидова Л.А., Комарова Г.В., Комаров В.И. Влияние добавок диспергантов на изменение состояния смолы и содержание экстрактивных веществ в лиственной сульфатной целлюлозе // ИВУЗ. Лесной журнал. 2003. № 2-3. С. 68–75.

Прокишин Г.Ф., Гусакова М.А., Афанасьев Н.И., Личутина Т.Ф., Вишнякова А.П., Фесенко А.В. Особенности образования и механизм извлечения остаточного лигнина и смолы при сульфатной варке березовой и осиновой целлюлозы // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 5–10.

Селиванов Е.В. Красители в биологии и медицине: справочник. Барнаул: Азбука, 2003. 40 с.

Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С. Анализ состояния смолы при обессмоливании сульфатной лиственной целлюлозы // ИВУЗ. Лесной журнал. 2019. № 4. С. 168–178. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.168.

Теплоухова М.В., Ладин А.Л., Столяров Д.Д., Голдобина Д.О. Исследование влияния ПАВ на сульфатную варку целлюлозы // Химия. Экология. Урбанистика: матер. Всерос. науч.-практич. конф. (с междунар. участием). Пермь, 2020. Т. 4. С. 174–177.

Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Носкова О.А. Обессмоливание целлюлозы на стадии бисульфитной варки // Журнал прикладной химии. 2017. Т. 90, № 3. С. 380–385.

Хакимова Ф.Х., Кичигина Г.В., Ермаков Л.В. Обессмоливание березовой бисульфитной целлюлозы на стадиях варки и отбелки // Химия. Экология. Урбанистика: матер. Всерос. науч.-практич. конф. (с междунар. участием). Пермь, 2018а. С. 799–805.

Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Шевелева С.А., Серебряков О.С. Обессмоливание лиственной сульфатной целлюлозы на стадии варки // Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: сб. матер. VI Всерос. отраслевой науч.-практич. конф. Екатеринбург, 2018б. С. 66–73.

### References

Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. Chemistry of wood and synthetic polymers. St. Petersburg: SPbLTA, 2010. 624 p. (In Russ.)

Bobrov A.I., Mutovina M.G., Bondareva T.A., Malyshkina V.K. Production of fibrous semi-finished products from hardwood. Moscow: Lesn. prom-st, 1984. 248 p. (In Russ.)

Khakimova F.H., Khakimov R.R., Noskova O.A. Desalination of cellulose at the stage of bisulfite cooking. *Journal of Applied Chemistry*, 2017, vol. 90, no. 3, pp. 380–385. (In Russ.)

Khakimova F.H., Kichigina G.V., Ermakov L.V. Desalination of birch bisulfite cellulose at the stages of cooking and bleaching. *Chemistry. Ecology. Urbanistics: materials of All-Russian scientific and practical conference (with international participation)*. Perm, 2018a, pp. 799–805. (In Russ.)

Khakimova F.H., Khakimov R.R., Sheveleva S.A., Serebryakov O.S. Desalination of deciduous sulfate cellulose at the cooking stage. *Innovations are the basis for the development of the pulp and paper and timber processing industries: collection of materials of the VI All-Russian industry-specific scientific and practical conference*. Ekaterinburg, 2018b, pp. 66–73. (In Russ.)

Kovtun T.N., Khakimov R.R. The use of desalting agents in the cooking of deciduous sulfate cellulose. *Chemistry of plant raw materials*, 2009, no. 1, pp. 37–41. (In Russ.)

Pechurina T.B., Milovidova L.A., Komarova G.V., Komarov V.I. The effect of dispersant additives on the change in the resin state and the content of extractives in deciduous sulfate cellulose. *IVUZ. Russian Forestry Journal*, 2003, no. 2–3, pp. 68–75. (In Russ.)

Prokshin G.F., Gusakova M.A., Afanasyev N.I., Lichutina T.F., Vishnyakova A.P., Fesenko A.V. Features of the formation and mechanism of extraction of residual lignin and resin during sulfate cooking of birch and aspen cellulose. *Chemistry of plant raw materials*, 2008, no. 2, pp. 5–10. (In Russ.)

Selivanov E.V. Dyes in biology and medicine: a reference book. Barnaul: Azbuka, 2003. 40 p. (In Russ.)

Smith R.A., Demyantseva E.Yu., Andranovich O.S. Analysis of the resin state during desalination of sulfate deciduous cellulose. *IVUZ. Russian Forestry Journal*, 2019, no. 4, pp. 168–178. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.168. (In Russ.)

Teploukhova M.V., Ladin A.L., Stolyarov D.D., Goldobina D.O. Investigation of the effect of surfactants on sulfate cooking of cellulose. *Chemistry. Ecology. Urbanistics: materials of All-Russian scientific and practical conference (with international participation)*. Perm, 2020, vol. 4, pp. 174–177.

Материал поступил в редакцию 23.09.2024

**Вураско А.В., Пепелин М.А., Пермяков А.Н., Атаева Ю.Г., Самородов С.А., Агеев М.А., Шерстобитов А.Л., Сиваков В.П., Губанов И.А.** Применение варочно-диспергирующих добавок при сульфатной делигнификации композиции лиственных пород древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 304–320. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.304-320

Цель работы – оценка влияния варочно-диспергирующих добавок на выход, степень делигнификации, количественное и качественное содержание смолы при сульфатных варках композиции лиственных пород. Для варки использована щепа древесины березы и осины (50:50); подъем температуры до 175 °С – 40 мин., варка при 175 °С – 180 мин.; расход активной щелочи – 15% ед. Na<sub>2</sub>O от а.с.д.; сульфидность белого щелока – 25%; гидромодуль – 4,0; расход варочно-диспергирующей добавки 0,8 кг на тонну а.с.д. Установлено, что все добавки снижают содержание экстрактивных веществ в целлюлозе в 1,25...2 раза по сравнению с контрольной варкой, и целлюлоза не содержит капсулированной смолы. Выявлено, что применение образцов Синалаб 72151, Синалаб 74415 и СИНАЛАБ® 8683 приводит к увеличению выхода (без непровара) и снижению жесткости. Целлюлозная масса содержит преимущественно коагулированную и, в незначительных количествах, диспергированную смолу. Образцы рекомендованы для делигнификации композиции лиственных пород как наиболее перспективные. Показано, что применение образцов Синалаб 74415BX, Синалаб 72101, Синалаб 74418SR и Синалаб 74418 приводит к повышению выхода, отсутствию непровара при одновременном увеличении жесткости целлюлозы за исключением образца Синалаб PP10-3152. При использовании добавки Синалаб 74418 целлюлоза содержит только диспергированную смолу, а при использовании остальных добавок имеются коагулированная и диспергированная смола в разных соотношениях. Для улучшения результатов необходим подбор условий пропитки, варки и промывки. Применение образцов Синалаб 63602 и Синалаб 74393 при варке приводит к снижению избирательности по лигнину, но достигается высокая доля удаления экстрактивных веществ. При анализе дисперсного состава смолистых веществ наряду с диспергированной обнаруживается коагулированная смола различных размеров на поверхности волокон. Данные добавки эффективнее использовать при промывке.

**Ключевые слова:** сульфатная варка, варочно-диспергирующие добавки, поверхностно-активные вещества, древесина березы, древесина осины, выход целлюлозы, жесткость целлюлозы, экстрактивные вещества, дисперсное состояние смолы.

**Vurasko A.V., Pepelin M.A., Permiakov A.N., Ataeva Ju.G., Samorodov S.A., Ageev M.A., Sherstobitov A.L., Sivakov V.P., Gubanov I.A.** The use of cooking and dispersing additives in the sulfate delignification of the composition of hardwood.

*Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii, 2025, iss. 253, pp. 304–320 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.304-320*

The purpose of the work is to assess the effect of cooking and dispersing additives on the yield, degree of delignification, quantitative and qualitative resin content during sulfate cooking of the hardwood composition. Birch and aspen wood chips were used for cooking (50:50); temperature rise to 175 °C – 40 min, cooking at 175 °C – 180 min; consumption of active alkali – 15% units of Na<sub>2</sub>O from a.s.d.; sulfidity of white liquor – 25%; hydromodule – 4.0; consumption of cooking a dispersing additive of 0.8 kg per ton a.s.d. It was found that all additives reduce the content of extractive substances in cellulose by 1.25...2 times compared with the control cooking and cellulose does not contain encapsulated resin. It was found that the use of samples Sinalab 72151, Sinalab 74415 and (SINALAB® 8683) leads to an increase in yield (without non-testing) and a decrease in stiffness. The cellulose mass contains mainly coagulated and, in small quantities, dispersed resin. The samples are recommended for delignification of the hardwood composition as the most promising. It has been shown that the use of samples Sinalab 74415BX, Sinalab 72101, Sinalab 74418SR and Sinalab 74418 leads to an increase in yield, absence of non-steam, while increasing the hardness of cellulose with the exception of sample Sinalab PP10-3152. When using the Sinalab 74418 additive, cellulose contains only dispersed resin, and when using other additives, there is coagulated and dispersed resin in different ratios. To improve the results, it is necessary to select the conditions of impregnation, cooking and washing. The use of Sinalab 63602 and Sinalab 74393 samples during cooking leads to a decrease in lignin selectivity, but a high proportion of extractive substances removal is achieved. These additives are more effective to use when rinsing.

**Key words:** sulfate cooking, cooking and dispersing additives, surfactants, birch wood, aspen wood, cellulose yield, cellulose stiffness, extractive substances, the dispersed state of the resin.

---

**ВУРАСКО Алеся Валерьевна** – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, профессор.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: vurasko2010@yandex.ru

**VURASKO Alesya V.** – DSc (Technical), Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: vurasko2010@yandex.ru

**ПЕПЕЛИН Михаил Анатольевич** – региональный представитель ООО «Компания НАЛКО».

196084, ул. Заставская, д. 22, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mikhail.pepelin@cinalab.ru

**PEPELIN Mikhail A.** – District Representative, LLC «NALCO Company».

196084. Zastavskaya str. 22. St. Petersburg. Russia. E-mail: mikhail.pepelin@cinalab.ru

**ПЕРМЯКОВ Александр Николаевич** – региональный руководитель ООО «Компания НАЛКО».

196084, ул. Заставская, д. 22, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: aleksandr.permiakov@cinalab.ru

**PERMIAKOV Aleksandr N.** – Area Manager, LLC «NALCO Company».

196084. Zastavskaya str. 22. St. Petersburg. Russia. E-mail: aleksandr.permiakov@cinalab.ru

**АТАЕВА Юлия Григорьевна** – инженер-химик ООО «Компания НАЛКО».

420097, ул. Зинина, д. 8, г. Казань, Россия. E-mail: julia.ataeva@cinalab.ru

**АТАЕВА Julia G.** – Chemist Engineer, LLC «NALCO Company»

420097. Zinina str. 8. Kazan. Russia. E-mail: julia.ataeva@cinalab.ru

**САМОРОДОВ Сергей Анатольевич** – Руководитель направления продуктового маркетинга, ООО «Компания НАЛКО»

115114, ул. Летниковская, д. 10, стр. 4, г. Москва, Россия. E-mail: sergey.samorodov@ecolab.com

**SAMORODOV Sergey A.** – Product Marketing Manager, LLC «NALCO Company».

115114. Letnikovskaya str. 10, bld. 4. Moscow. Russia. E-mail: sergey.samorodov@ecolab.com

**АГЕЕВ Максим Аркадьевич** – доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, кандидат технических наук, доцент.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: ageevma@m.usfeu.ru

**AGEEV Maksim A.** – PhD (Technical), Associate Professor of the department technology of pulp and paper industries and polymer processing of the Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: ageevma@m.usfeu.ru

**ШЕРСТОБИТОВ Алексей Леонидович** – ассистент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: sherstobitoval@m.usfeu.ru

**SHERSTOBITOV Aleksey L.** – Assistant of the Department of Technologies of Pulp and Paper Production and Polymer Processing of the Ural State Forestry University  
620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: sherstobitoval@m.usfeu.ru

**СИВАКОВ Валерий Павлович** – профессор кафедры технологических машин и технологии машиностроения Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук, профессор. ResearcherID: AAC-6084-2021. ORCID: 0000-0002-9387-1512.

620100, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, E-mail: siva-  
kovvp@m.usfeu.ru

**SIVAKOV Valeriy P.** – DSc (Technical), Professor of the Department of Technological Machines and Mechanical Engineering Technology, Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: sivakovvp@m.usfeu.ru

**ГУБАНОВ Иван Александрович** – техник-лаборант кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: gubanovia@m.usfeu.ru

**GUBANOV Ivan A.** – Laboratory technician at the Department of Technologies of Pulp and Paper Production and Polymer Processing of the Ural State Forestry University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: gubanovia@m.usfeu.ru

**А.Р. Галиева, Е.В. Крякунова, Л.А. Мингазова, З.А. Канарская,  
А.В. Канарский, А.Г. Кузнецов**

## **ПОЛУЧЕНИЕ КОРМОВОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ АРАБИНОГАЛАКТАНА И БИОМАССЫ ДРОЖЖЕПОДОБНЫХ ГРИБОВ**

*Введение.* На современном этапе развития сельское хозяйство испытывает дефицит кормового белка в рационе сельскохозяйственных животных. В настоящее время традиционные источники растительного белка не могут удовлетворить существующую потребность в кормовом белке по потребительским свойствам, что вызывает необходимость создания альтернативных источников кормового белка. Для укрепления здоровья и ускорения роста сельскохозяйственных животных все большее внимание животноводов привлекают белковые препараты микробиологического происхождения. В качестве источника полноценного кормового белка наиболее перспективной группой микроорганизмов в настоящее время считаются базидиальные грибы (*Basidiomycetes*) [Фоменко и др., 2021].

Базидиомицеты – высшие грибы с многоклеточным мицелием, насчитывающие около 30 тыс. видов как микроскопических грибов, так и грибов с крупными плодовыми телами [Куликова и др., 2011]. В современной таксономии выделяют три класса базидиальных дрожжеподобных грибов – *Ustilaginomycetes*, *Urediniomycetes* и *Hymenomycetes*. Представители этих классов дрожжей используются в качестве источников кормового белка при кормлении животных [Choudhary, Johri, 2009]. Применение микробной биомассы в качестве источника кормового белка является рациональным подходом, т.к. биомассу микроорганизмов можно производить круглогодично на дешевом сырье и вторичных ресурсах, производство не зависит от климатических и погодных условий, не требует посевных площадей, поддается автоматизации [Бабьева, Чернов, 2004]. В последние годы интенсивно разрабатываются новые направления в биотехнологии переработки лигноцеллюлозных материалов. В связи с этим большое внимание уделяется дереворазрушающим базидиальным грибам, которые обладают ферментативной системой, способной расщеплять полисахаридные и лигниновые компоненты субстрата [Мошкова, Бойцова, 2000].

При использовании микроорганизмов в качестве продуцентов кормового белка возможно одновременно решить две важные задачи – получения белковой массы и переработки вторичных ресурсов переработки растительного сырья, в частности, арабиногалактана.

Арабиногалактан представляет собой природный полисахарид, который содержится в тканях растений. Этот полисахарид проявляет широкий спектр биологической активности и имеет низкую токсичность, благодаря чему находит широкое применение в фармацевтической и косметической отраслях промышленности для создания препаратов с улучшенными свойствами [Pokatilov et al., 2022; Zvereva, Zhmurova, 2022]. Арабиногалактан также используется как компонент биологически активных добавок к пище и кормовых добавок [Фомичев и др., 2017; Никанова, 2019].

Целесообразно получать арабиногалактан из хвойных пород, в частности, лиственницы сибирской, в которой содержание арабиногалактана составляет в среднем 10–15% от массы древесины [Большакова и др., 1991]. При получении целлюлозы из древесины лиственницы арабиногалактан в растворенном виде переходит в щелок и может выделяться для дальнейшего получения биопродуктов.

Арабиногалактан благодаря хорошей растворимости в воде является перспективным полисахаридом для использования в качестве источника углерода в составе жидких питательных сред для выращивания микроорганизмов. В работах [Митина и др., 2012, 2013] показана возможность его применения в качестве единственного источника углерода при культивировании ряда фитопатогенных грибов. В работах [Неверова и др., 2010; Галаяудинова и др., 2016] показана способность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, *Debaryomyces hansenii* и *Guehomyces pullulans* утилизировать арабиногалактан, полученный из древесины лиственницы. Известна возможность биоконверсии арабиногалактана макромицетами и микромицетами. Установлено, что внесение арабиногалактана в качестве стимулирующей биодобавки при биоконверсии остатков древесины макро- и микромицетами положительно влияет на их рост и развитие [Митина и др., 2013].

Следует отметить, что проведенные ранее исследования по биоконверсии арабиногалактана микроорганизмами не учитывают возможности создания кормовых продуктов, сочетающих физиологически активные свойства интактного арабиногалактана, микробиологических белков и других продуктов метаболизма микроорганизмов.

*Цель исследования* – изучение возможности получения биопродуктов кормового назначения посредством микробиологической конверсии арабиногалактана дрожжеподобными грибами *Trichosporon moniliiforme*.

*Материалы и методика исследования.* В работе использовались дрожжеподобные грибы – представители отдела Базидиомицетов – штаммы *Trichosporon moniliiforme* Н<sub>3932</sub>, Н<sub>3933</sub>, Н<sub>3762</sub>, Н<sub>3763</sub>, которые были предоставлены Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова, коллекция кафедры биологии почв.

Культивирование микроорганизмов проводили на питательных средах, в состав которых вносили арабиногалактан в концентрации 2,0%, 4,0 и 6,0% соответственно. Арабиногалактан предоставлен Санкт-Петербургским государственным университетом промышленных технологий и дизайна, кафедра технологии целлюлозы и композиционных материалов. Арабиногалактан представлял собой порошок с содержанием сухих веществ 92%, который был получен путем сушки на распылительной сушилке экстракта технологической щепы древесины лиственницы сибирской (Братский ЛПК) [Кузнецов и др., 2012; Митина и др., 2012, 2013; Галяутдинова и др., 2016]. Экстракт был получен двухступенчатой водной экстракцией при температуре 90–105 °С при гидромодуле 1:4, после чего дополнительно сконцентрирован с применением мембранной фильтрации до концентрации 25%.

Начальная концентрация редуцирующих веществ (РВ) в питательной среде составляла 0,02%, рН 5,8±0,1. В питательные среды вносили минеральные соли  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в следующих концентрациях:

- при добавлении в питательную среду 2% арабиногалактана – 0,03 М  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и 0,01 сМ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ;
- при добавлении в питательную среду 4% арабиногалактана – 0,06 М  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и 0,3 сМ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ;
- при добавлении в питательную среду 6% арабиногалактана – 0,08 М  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и 0,5 сМ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

Культивирование дрожжеподобных грибов осуществлялось в колбах Эрленмейера при температуре 30,0±1,0 °С при непрерывном перемешивании в течение 7 суток. Отбор проб проводили каждые 24 ч.

Содержание редуцирующих веществ определяли по методике, приведенной в работе [Морозова и др., 2012]. Биомассу дрожжеподобных грибов определяли весовым методом после удаления культуральной жидкости. Определение количества клеток дрожжеподобных грибов проводили в камере Горяева-Тома [Скиба, 2010]. Определение кинетических характеристик и выхода биомассы проводили по стандартным методикам [Практикум..., 2005].  $\beta$ -галактозидазную активность дрожжеподобных грибов определяли фотометрическим методом с применением О-нитрофенил- $\beta$ -D-галактопиринозида [Полыгалина и др., 2003].

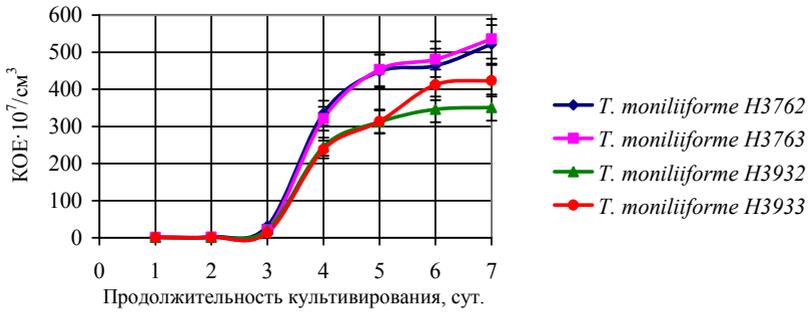
Статистическая обработка результатов экспериментов проводилась с помощью программы Microsoft Excel.

*Результаты и обсуждение.* В результате проведенных исследований было установлено, что в процессе культивирования наблюдается закономерное увеличение количества клеток дрожжеподобных грибов *T. moniliiforme*. Представленные на рис. 1 кривые роста различных штаммов *T. moniliiforme* отражают зависимость количества клеток в культуральной жидкости от времени культивирования и имеют характерную для подобных кривых S-образную форму.

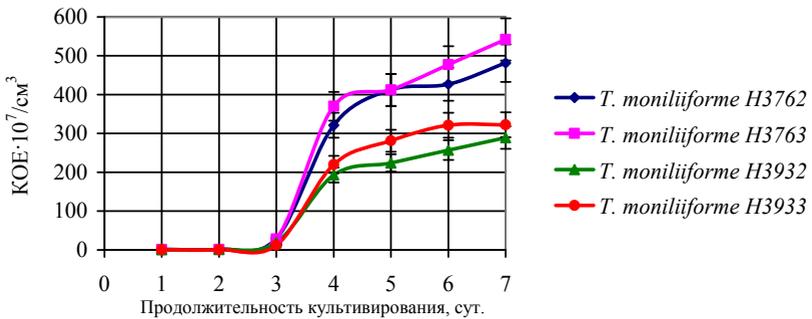
В течение первых 3 суток культивирования у всех анализируемых штаммов происходит адаптация к питательной среде, затем начинается экспоненциальная фаза роста, которая переходит в стационарную на 5-е сутки. При этом у штаммов *T. moniliiforme*  $H_{3762}$  и  $H_{3763}$  наблюдается более активная пролиферация клеток в логарифмическую фазу роста по сравнению со штаммами *T. moniliiforme*  $H_{3932}$  и  $H_{3933}$ . Существенных различий в количестве клеток каждого анализируемого штамма дрожжеподобных грибов в зависимости от концентрации арабиногалактана в питательной среде выявлено не было.

Известно, что дрожжи и дрожжеподобные грибы, включая представителей р. *Trichosporon spp.*, способны ассимилировать различные моносахариды: быстрее всего усваивается глюкоза, затем манноза и ксилоза, медленнее всех усваиваются галактоза и арабиноза [Ramos et al., 2004].

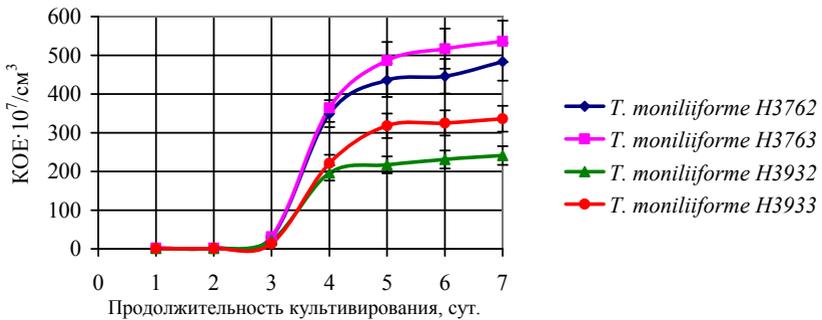
В данной работе в питательную среду для культивирования дрожжеподобных грибов *T. moniliiforme* в качестве источника углерода добавляли арабиногалактан, полученный из древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), произрастающей в Иркутской области. Структура молекулы используемого в данной работе арабиногалактана схожа с арабиногалактанами других видов лиственницы, например, западной (*Larix occidentalis* Nutt.), и представляет собой высокоразветвленную молекулу, основу которой представляют звенья  $\beta$ -D-галактопиранозы, соединённые 1–3-гликозидными связями. Большинство звеньев используемого в данной работе арабиногалактана имеет ответвления при C-6, представляющие собой цепочки из замещённых остатков  $\beta$ -D-галактопиранозы и  $\beta$ -L-арабинофуранозы, соединённых 1–6-гликозидными связями. Молекулярная масса арабиногалактана составляет 40 кДа [Антонова, Усов, 1984].



(a)



(b)



(c)

Рис. 1. Кинетика роста *T. moniliiforme* на питательных средах на основе арабиногалактана в концентрации: (а) 2%; (б) 4%; (с) 6%

Fig. 1. Growth kinetics of *T. moniliiforme* on nutrient media based on arabinogalactan at a concentration: (a) 2%; (b) 4%; (c) 6%

На рис. 2 представлена динамика изменения содержания редуцирующих веществ в питательной среде на основе арабиногалактана при культивировании различных штаммов *T. moniliiforme*. Очевидно, что наблюдаемый для всех анализируемых штаммов *T. moniliiforme* в первые сутки культивирования рост содержания редуцирующих веществ в питательной среде связан с отщеплением клетками микроорганизма от галактозного остова моносахаридов – шестиуглеродных пираноз и пятиуглеродных фураноз. На вторые сутки культивирования в среде не наблюдается увеличения содержания редуцирующих веществ в культуральной жидкости, т.к. в питательной среде начинает наблюдаться нехватка свободных сахаров и легкодоступных для отщепления боковых пиранозных и фуранозных цепей арабиногалактана, представленных арабинозой и галактозой. Начиная с 3 суток и вплоть до 6 суток культивирования происходит постепенное увеличение концентрации редуцирующих веществ в культуральной жидкости, очевидно, в результате глубокого гидролиза молекулы арабиногалактана. Увеличение концентрации редуцирующих веществ в этот временной промежуток соответствовало логарифмической фазе роста культуры, в которой происходит активная пролиферация клеток и рост биомассы.

Увеличение концентрации редуцирующих веществ в питательной среде в отсутствие внешнего источника углеводов является явным свидетельством наличия у дрожжеподобных грибов *T. moniliiforme*  $\beta$ -галактозидазной активности. Способность базидиомицетов гидролизовать арабиногалактан показана ранее [Галяутдинова и др., 2016]. Отсутствие роста концентрации редуцирующих веществ в последние сутки культивирования, очевидно, связано с истощением арабиногалактозного субстрата.

Поскольку наличие  $\beta$ -галактозидазного ферментного комплекса у дрожжеподобных грибов *T. moniliiforme* косвенно было показано по увеличению концентрации редуцирующих веществ в культуральной жидкости, следующим этапом исследований стало определение  $\beta$ -галактозидазной активности у данных микроорганизмов (рис. 3). Известно, что клетки дрожжевых культур продуцируют внутриклеточные  $\beta$ -галактозидазы, представленные олигомерами с молекулярной массой 200–600 кДа и оптимумом pH 6,8–7,2, активаторами фермента являются ионы магния [Рябцева, Скрипнюк, 2014], которые в виде примесей, видимо, присутствовали в арабиногалактане [Кушеев, 2018].

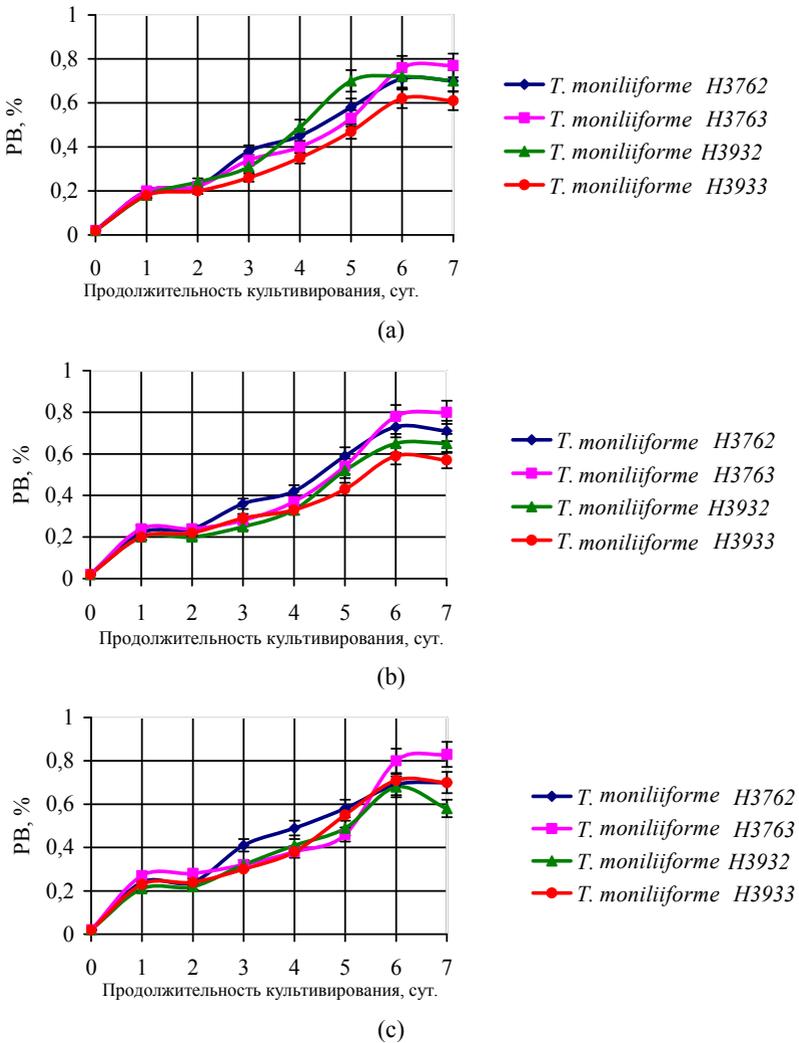


Рис. 2. Влияние продолжительности культивирования *T. moniliiforme* на содержание редуцирующих веществ в питательной среде на основе арабиногалактана в концентрации: (а) 2%; (б) 4%; (с) 6%

Fig. 2. Effect of *T. moniliiforme* cultivation time on the content of reducing substances in a nutrient medium based on arabinogalactan at a concentration: (a) 2%; (b) 4%; (c) 6%

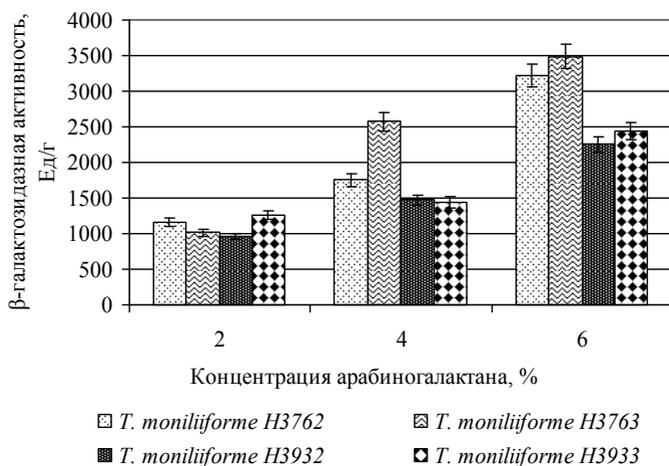


Рис. 3. Зависимость  $\beta$ -галактозидазной активности *T. moniliiforme* от концентрации арабиногалактана в питательной среде

Fig. 3. Dependence of *T. moniliiforme*  $\beta$ -galactosidase activity on the arabinogalactan concentration in the nutrient medium

Как видно из данных, представленных на рис. 3, для всех анализируемых штаммов *T. moniliiforme* характерно увеличение  $\beta$ -галактозидазной активности при увеличении концентрации арабиногалактана в питательной среде. При концентрации арабиногалактана 2%  $\beta$ -галактозидазная активность исследуемых штаммов была сопоставимой. При увеличении концентрации арабиногалактана до 4%  $\beta$ -галактозидазная активность штамма *T. moniliiforme* H<sub>3763</sub> была в 1,5 раза выше, чем у других штаммов. При концентрации арабиногалактана 6% штамм *T. moniliiforme* H<sub>3763</sub> также демонстрировал наибольшую среди всех штаммов ферментативную активность, однако сравнимые результаты при такой концентрации арабиногалактана были получены и для штамма *T. moniliiforme* H<sub>3762</sub>. Полученные результаты доказывают, что дрожжеподобные грибы *T. moniliiforme* способны ассимилировать даже такой сложный субстрат как арабиногалактан в отсутствие простых сахаров в питательной среде.

Были определены кинетические характеристики роста *T. moniliiforme* при культивировании на питательных средах на основе арабиногалактана, а именно удельная скорость роста, продолжительность генерации и выход биомассы (табл. 1). Вышеназванные показатели продуктивности культур дрожжеподобных грибов рассматривались в контексте пригодности для

получения кормового белка. В настоящее время в качестве промышленных продуцентов кормового белка широко используются следующие представители дрожжеподобных грибов: *Candida scottii*, *Hansenula anomala*, *Trichosporon cutaneum* [Ручай, Гребенчикова, 2014]. Поскольку среди наиболее продуктивных культур есть представитель р. *Trichosporon spp.*, то авторами было выдвинуто предположение о возможности использования исследуемых штаммов *T. moniliiforme* в качестве источника кормового белка. Известно, что белок кормовых дрожжей переваривается в организме животных на 95%. Источником углерода для образования кормовой биомассы в данной работе служил арабиногалактан, который под действием β-галактозидазы дрожжеподобных грибов расщеплялся до простых сахаров галактозы и арабинозы. Таким образом, полученная дрожжевая биомасса является потенциальным источником кормового белка, а микробиологическая утилизация арабиногалактана – вторичного ресурса целлюлозно-бумажной промышленности – новой ступенью биорефайнинга древесины.

Таблица 1

**Кинетические характеристики роста *T. moniliiforme* при культивировании на питательной среде на основе арабиногалактана**  
**Growth kinetic characteristics of *T. moniliiforme* cultivated on a nutrient medium based on arabinogalactan**

Штамм	Показатели*	Концентрация арабиногалактана в питательной среде, %		
		2	4	6
<i>Trichosporon moniliiforme</i> Н <sub>3762</sub>	μ, ч <sup>-1</sup>	0,047±0,005	0,047±0,005	0,045±0,005
	Q, ч	14,7±0,7	14,7±0,7	15,4±0,8
	B, %	6,2±0,3	7,3±0,4	7,8±0,4
<i>Trichosporon moniliiforme</i> Н <sub>3763</sub>	μ, ч <sup>-1</sup>	0,046±0,005	0,047±0,005	0,045±0,005
	Q, ч	15,1±0,8	14,7±0,7	15,4±0,8
	B, %	8,6±0,1	10,1±0,5	11,8±0,6
<i>Trichosporon moniliiforme</i> Н <sub>3932</sub>	μ, ч <sup>-1</sup>	0,042±0,005	0,046±0,005	0,043±0,005
	Q, ч	16,5±0,8	15,0±0,8	16,4±0,8
	B, %	5,7±0,3	6,0±0,3	5,8±0,3
<i>Trichosporon moniliiforme</i> Н <sub>3933</sub>	μ, ч <sup>-1</sup>	0,043±0,005	0,042±0,005	0,043±0,005
	Q, ч	16,1±0,8	16,5±0,8	16,1±0,8
	B, %	6,1±0,3	6,2±0,3	6,6±0,3

Примечание: \* μ – удельная скорость роста; Q – продолжительность генерации; B – выход биомассы дрожжеподобных грибов

Было установлено, что наиболее продуктивны при культивировании на питательных средах с арабиногалактаном штаммы дрожжеподобных грибов *T. moniliiforme* Н<sub>3763</sub> и *T. moniliiforme* Н<sub>3762</sub>. В свою очередь, кинетические характеристики и выход биомассы для штаммов *T. moniliiforme* Н<sub>3932</sub> и *T. moniliiforme* Н<sub>3933</sub> уступают вышеназванным штаммам. Поскольку основной задачей данной работы являлось установление возможности микробиологической деструкции арабиногалактана с целью получения кормового продукта, то наиболее перспективным источником кормового белка среди проанализированных штаммов дрожжеподобных грибов следует назвать штамм *T. moniliiforme* Н<sub>3763</sub>, для которого был получен наибольший выход биомассы.

В работах [Торшков, 2010; Фомичев и др., 2017; Никанова, 2019] было показано благоприятное влияние арабиногалактана на прирост живой биомассы молодняка сельскохозяйственных животных (поросят, телят, крольчат), которых только начинали переводить с молочного кормления на комбикорма, соответственно, в желудочно-кишечном тракте этих животных оставались жизнеспособные бифидобактерии и лактобациллы. Поскольку данные микроорганизмы ответственны за расщепление лактозы в кишечнике млекопитающих в период молочного кормления, то вырабатываемая этими микроорганизмами  $\beta$ -галактозидаза (лактаза) способна расщеплять и гликозидные связи в молекуле арабиногалактана. Однако для животных, для которых не характерно вскармливание молоком (птица, рыба), прирост живой массы наблюдался лишь при использовании биофлавоноидного комплекса (дигидрокверцетина и арабиногалактана) [Торшков, 2010; Омаров, Агаркова, 2021]. Подобный эффект совместного действия арабиногалактана и дигидрокверцетина был описан и для поросят-отъемышей [Никанова, 2019]. Следовательно, можно сделать вывод, что интактный арабиногалактан в отсутствие микроорганизмов с  $\beta$ -галактозидазной ферментной системой животными усваивается незначительно. Поэтому для повышения усвояемости кормовой добавки арабиногалактан подвергался предварительной микробиологической ферментации дрожжеподобными грибами *T. moniliiforme* (рис. 4).

Как видно из данных, представленных на рис. 4, выход кормового продукта повышается с увеличением концентрации арабиногалактана в питательной среде, хотя разница между выходами кормового продукта, полученными при микробиологической ферментации 4% и 6% арабиногалактана, статистически незначительна. Значения выхода кормового продукта, полученного различными штаммами *T. moniliiforme* на одинаковых

концентрациях арабиногалактана, также сопоставимы. С увеличением концентрации арабиногалактана в питательной среде существенное увеличение выхода биомассы наблюдается лишь для штамма *T. moniliiforme* Н<sub>3763</sub>, который, как было показано выше, обладает и наибольшей β-галактозидазной активностью. У штамма *T. moniliiforme* Н<sub>3762</sub> зависимость выхода биомассы от концентрации арабиногалактана в питательной среде выражена в гораздо меньшей степени, тогда как у штаммов *T. moniliiforme* Н<sub>3932</sub> и *T. moniliiforme* Н<sub>3933</sub> статистически значимых различий в количестве полученной биомассы на средах с разной концентрацией арабиногалактана выявлено не было.

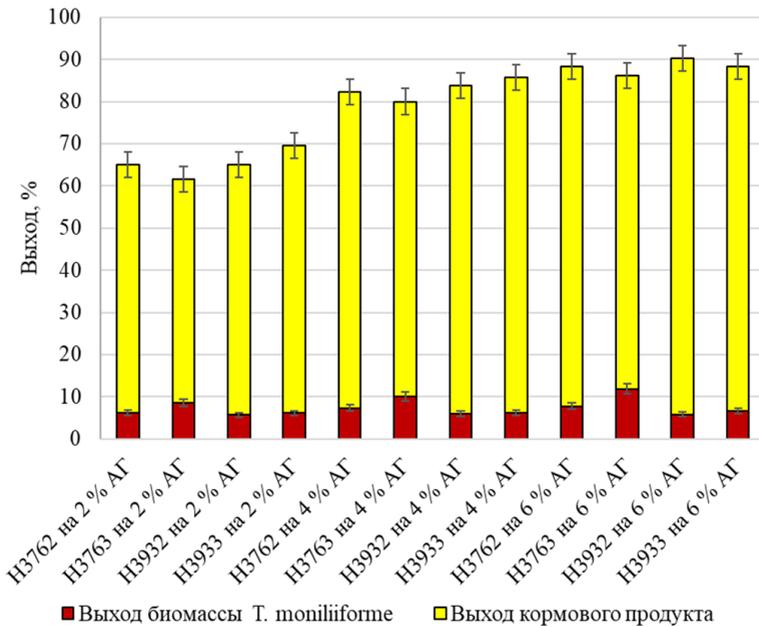


Рис. 4. Выход кормового продукта и биомассы *T. moniliiforme* при культивировании на питательных средах на основе арабиногалактаном (АГ)

Fig. 4. Yield of feed product and *T. moniliiforme* biomass after its cultivation on nutrient media based on arabinogalactan (AG)

Данный кормовой продукт, по мнению авторов, должен обладать повышенной биологической ценностью и усвояемостью, т.к. будет содержать кормовой белок дрожжевого происхождения, редуцирующие вещества

(простые сахара галактозу и арабинозу), возникшие в результате ферментативного гидролиза арабиногалактана  $\beta$ -галактозидазой *T. moniliiforme* (табл. 2). Также в кормовом продукте будут содержаться минеральные вещества и продукты неполного гидролиза арабиногалактана – олигомерные углеводные молекулы, легче поддающиеся деструкции ферментами желудочно-кишечного тракта сельскохозяйственных животных по сравнению с нативным арабиногалактаном.

Таблица 2

**Компонентный состав кормового продукта на основе арабиногалактана**  
**Component composition of a feed product based on arabinogalactan**

Штамм	Концентрация арабиногалактана в питательной среде, %	Состав кормового продукта, г/100 г		
		арабиногалактан	редуцирующие вещества	кормовой белок
<i>T. moniliiforme</i> Н <sub>3762</sub>	2	89,4±4,5	1,1±0,1	9,5±0,5
	4	90,2±4,5	0,9±0,1	8,9±0,4
	6	90,4±4,5	0,8±0,1	8,8±0,4
<i>T. moniliiforme</i> Н <sub>3763</sub>	2	84,7±4,2	1,3±0,1	14,0±0,7
	4	86,4±4,3	1,0±0,1	12,6±0,6
	6	85,3±4,3	1,0±0,1	13,7±0,7
<i>T. moniliiforme</i> Н <sub>3932</sub>	2	90,1±4,5	1,1±0,1	8,8±0,4
	4	92,0±4,6	0,8±0,1	7,2±0,4
	6	93,0±4,7	0,6±0,1	6,4±0,3
<i>T. moniliiforme</i> Н <sub>3933</sub>	2	90,3±4,5	0,9±0,1	8,8±0,4
	4	92,1±4,6	0,7±0,1	7,2±0,4
	6	91,7±4,6	0,8±0,1	7,5±0,4

Таким образом, установлено, что кормовой продукт содержал дрожжевой белок и редуцирующие вещества в наибольшей степени при использовании для биодеструкции арабиногалактана штамма *T. moniliiforme* Н<sub>3763</sub>, в меньшей степени – штамма *T. moniliiforme* Н<sub>3762</sub>. Использование для микробиологической деструкции арабиногалактана штаммов *T. moniliiforme* Н<sub>3932</sub> и *T. moniliiforme* Н<sub>3933</sub> нецелесообразно, т.к. эти штаммы дают наименьший выход кормового белка и редуцирующих веществ на всех проанализированных концентрациях арабиногалактана.

**Заключение.** Определена возможность использования арабиногалактана в качестве источника углерода в составе питательных сред для культивирования дрожжеподобных грибов *Trichosporon moniliiforme*. Показана перспективность использования дрожжеподобных грибов *T. moniliiforme* Н<sub>3763</sub> для микробиологической деструкции арабиногалактана с получением кормового продукта, содержащего кормовой белок, редуцирующие вещества, β-галактозидазу и интактный арабиногалактан.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Антонова Г.Ф., Усов А.И. Структура арабиногалактана древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) // Биоорганическая химия. 1984. Т. 10, № 12. С. 1664–1669.

Бабьева И.П., Чернов И.Ю. Биология дрожжей. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 239 с.

Большакова Н.Н., Сушкова О.В., Волкова О.А. Распределение арабиногалактана и дигидрокверцетина в древесине лиственницы лесосырьевой базы Усть-Илимского лесопромышленного комплекса // Химия древесины. 1991. № 4. С. 85–90.

Галяутдинова И.А., Канарский А.В., Канарская З.А., Кузнецов А.Г. Эффективность культивирования дрожжей *Debaryomyces hansenii* и *Guehomyces pullulans* на питательных средах из арабиногалактана // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 16. С. 96–98.

Кузнецов А.Г., Махотина Л.Г., Аким Э.Л. Использование биополимера арабиногалактана при производстве целлюлозных композиционных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2012. №5 (25) С. 82–84.

Куликова Н.А., Кляйн О.И., Степанова Е.В., Королева О.В. Использование базидиальных грибов в технологиях переработки и утилизации техногенных отходов: фундаментальные и прикладные аспекты (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47, № 6. С. 619–634.

Кушеев Ч.Б. Разработка ветеринарного препарата на основе биологически активных соединений биомассы лиственницы: отчёт о НИР. Иркутск: ИГАУ, 2018. 99 с.

Митина Г.В., Сокорнова С.В., Махотина Л.Г., Кузнецов А.Г., Аким Э.Л. Перспективы использования арабиногалактана для культивирования высших грибов и микроорганизмов – продуцентов средств защиты растений // Вестник защиты растений. 2012. № 3. С. 28–32.

Митина Г.В., Сокорнова С.В., Титова Ю.А., Махотина Л.Г., Кузнецов А.Г., Первушин А.Л. Использование макро- и микромицетов в биоконверсии растительного сырья // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2013. №163. С. 69–79.

Морозова Ю.А., Скворцов Е.В., Алимова Ф.К., Канарский А.В. Биосинтез ксиланаз и целлюлаз грибами рода *Trichoderma* на послеспиртовой барде // Вестник технологического университета. 2012. Т. 15, № 19. С. 120–122.

Мошкова Т.Б., Бойцова Т.А. Биотрансформация лигнинсодержащих отходов химической переработки древесины под влиянием дереворазрушающих базидиомицетов // Север: Экология. Екатеринбург, 2000. С. 117–127.

Неверова Н.А., Беловежец Л.А., Медведева Е.Н., Бабкин В.А. Метаболизм арабиногалактана лиственницы сибирской дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* // Химия растительного сырья. 2010. №4. С. 57–62.

Никанова Л.А. Использование дигидрокверцетина и арабиногалактана в питании порослят-отъемышей // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 3 (47). С. 47–50. DOI: 10.35694/YARCX.2019.47.3.010.

Омаров М.О., Агаркова Н.В. Дигидрокверцетин и арабиногалактан в стартерных кормах для осетровых рыб // Сборник научных трудов КНЦЗВ. 2021. Т. 10, № 1. С. 178–181. DOI: 10.48612/dab8-4xzg-dhe3.

Польгалина Г.В., Чередниченко В.С., Римарева Л.В. Определение активности ферментов: справочник. М.: ДеЛи принт, 2003. 375 с.

Практикум по микробиологии / под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 608 с.

Ручай Н.С., Гребенчикова И.А. Технология микробного синтеза. Минск: БГТУ, 2014. 167 с.

Рябцева С.А., Скрипнюк А.А. Современные методы получения  $\beta$ -галактозидаз // Наука. Инновации. Технологии. 2014. № 3. С. 197–204.

Скиба Е.А. Технология производства дрожжей. Бийск: Изд-во Алтайского государственного технического университета, 2010. 121 с.

Ториков А.А. Влияние арабиногалактана на продуктивные качества цыплят-бройлеров // Известия ОГАУ. 2010. №27-1. С. 203–205.

Фоменко И.А., Дегтярев И.А., Иванова Л.А., Машенцева Н.Г. Получение белкового концентрата из дрожжевой биомассы *Kluyveromyces marxianus* Van der Walt (1965) // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 6. С. 1172–1182. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1172rus.

Фомичев Ю.П., Никанова Л.А., Дорожкин В.И., Ториков А.А., Романенко А.А., Еськов Е.К., Семенова А.А., Гоноцкий В.А., Дунаев А.В., Ярошевич Г.С., Лашин С.А., Стольная Н.И. Дигидрокверцетин и арабиногалактан – природные биорегуляторы в жизнедеятельности человека и животных, применение в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. М.: Научная библиотека, 2017. 702 с.

Choudhary D.K., Johri B.N. Basidiomycetous Yeasts: Current Status // Yeast Biotechnology: Diversity and Applications. Springer, 2009. Chapter 2. P. 19–46. DOI: 10.1007/978-1-4020-8292-4\_1.

Pokatilov F.A., Akatova H.V., Kizhnyayev V.N. Synthesis and properties of tetrazole-containing polyelectrolytes based on chitosan, starch, and arabinogalactan // E-Polymers. 2022. P. 203–213. DOI:10.1515/epoly-2022-0026.

Ramos J.M., Cuenca-Estrella M., Gutierrez F., Elia M., Rodriguez-Tudela J.L. Clinical Case of Endocarditis due to *Trichosporon inkin* and Antifungal Susceptibility Profile of the Organism // *Journal of Clinical Microbiology*. 2004. P. 2341–2344. DOI: 10.1128/JCM.42.5.2341-2344.2004.

Zvereva M.V., Zhmurova A.V. Synthesis, Structure, and Spectral Properties of ZnTe-Containing Nanocomposites Based on Arabinogalactan // *Russian Journal of General Chemistry*. 2022. P. 1995–2004. DOI: 10.1134/S1070363222100139.

## References

Antonova G.F., Usov A.I. Structure of arabinogalactan from Siberian larch wood (*Larix sibirica* Ledeb.). *Bioorganic Chemistry*, 1984, vol. 10, no. 12, pp. 1664–1669. (In Russ.)

Bab'eva I.P., Chernov I.Yu. Biology of yeast. Moscow: Scientific Publications Association KMK, 2004. 239 p. (In Russ.)

Bolshakova N.N., Sushkova O.V., Volkova O.A. Distribution of arabinogalactan and dihydroquercetin in larch wood of the forest raw material base of the Ust-Ilimsk Forest Industry Complex. *Wood Chemistry*, 1991, no. 4, pp. 85–90. (In Russ.)

Choudhary D.K., Johri B.N. Basidiomycetous Yeasts: Current Status. *Yeast Biotechnology: Diversity and Applications*. Springer, 2009, chapter 2, pp. 19–46. DOI: 10.1007/978-1-4020-8292-4\_1.

Fomenko I.A., Degtyarev I.A., Ivanova L.A., Mashenzeva N.G. Obtaining protein concentrate from yeast biomass *Kluyveromyces marxianus* Van der Walt (1965). *Agricultural biology*, 2021, vol. 56, no. 6, pp. 1172–1182. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1172rus. (In Russ.)

Fomichev Yu.P., Nikanova L.A., Dorozhkin V.I., Torshkov A.A., Romanenko A.A., Eskov E.K., Semenova A.A., Gonotsky V.A., Dunaev A.V., Yaroshevich G.S., Lashin S.A., Stolnaya N.I. Dihydroquercetin and arabinogalactan are natural bioregulators in human and animal life, used in agriculture and the food industry. Moscow: Scientific Library, 2017. 702 p. (In Russ.)

Galyautdinova I.A., Kanarskiy A.V., Kanarskaya Z.A., Kuznetsov A.G. Cultivation efficiency of yeast *Debaryomyces hansenii* and *Guehomyces pullulans* on nutrient media from arabinogalactan. *Bulletin of the Technological University*, 2016, vol. 19, no. 16, pp. 96–98. (In Russ.)

Kulikova N.A., Klein O.I., Stepanova E.V., Koroleva O.V. Use of basidiomycetes in technologies of processing and utilization of technogenic waste: fundamental and applied aspects (review). *Applied biochemistry and microbiology*, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 619–634. (In Russ.)

Kushev Ch.B. Development of a veterinary drug based on biologically active compounds of larch biomass: research report. Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University, 2018. 99 p. (In Russ.)

Kuznetsov A.G., Makhotina L.G., Akim E.L. Use of arabinogalactan biopolymer in the production of cellulose composite materials. *Design. Materials. Technology*, 2012, no. 5 (25), pp. 82–84. (In Russ.)

Mitina G.V., Sokornova S.V., Makhotina L.G., Kuznetsov A.G., Akim E.L. Prospects for the use of arabinogalactan for the cultivation of higher fungi and microorganisms – producers of plant protection products. *Bulletin of Plant Protection*, 2012, no. 3, pp. 28–32. (In Russ.)

Mitina G.V., Sokornova S.V., Titova Yu.A., Makhotina L.G., Kuznetsov A.G., Pervushin A.L. Use of macro- and micromycetes in bioconversion of plant raw materials. *Bulletin of the Herzen State Pedagogical University*, 2013, no. 163, pp. 69–79. (In Russ.)

Morozova Yu.A., Skvortsov E.V., Alimova F.K., Kanarskiy A.V. Biosynthesis of xylanases and cellulases by fungi of the genus *Trichoderma* on post-alcohol stillage. *Bulletin of the Technological University*, 2012, vol. 15, no. 19, pp. 120–122. (In Russ.)

Moshkova T.B., Boytsova T.A. Biotransformation of lignin-containing waste from chemical wood processing under the influence of wood-destroying basidiomycetes. *North: Ecology*. Yekaterinburg, 2000, pp. 117–127. (In Russ.)

Neverova N.A., Belovezhets L.A., Medvedeva E.N., Babkin V.A. Metabolism of Siberian larch arabinogalactan by *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Chemistry of plant raw materials*, 2010, no. 4, pp. 57–62. (In Russ.)

Nikanova L.A. The use of dihydroquercetin and arabinogalactan in the diet of weaned piglets. *Bulletin of the APK of the Verkhnevolzhye*, 2019, no. 3 (47), pp. 47–50. DOI 10.35694/YARCX.2019.47.3.010. (In Russ.)

Omarov M.O., Agarkova N.V. Dihydroquercetin and arabinolactan in starter feed for sturgeon. *Collection of scientific papers of the KSCZV*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 178–181. DOI: 10.48612/dab8-4xzg-dhe3. (In Russ.)

Pokatilov F.A., Akamova H.V., Kizhnyayev V.N. Synthesis and properties of tetrazole-containing polyelectrolytes based on chitosan, starch, and arabinogalactan. *E-Polymers*, 2022, pp. 203–213. DOI:10.1515/epoly-2022-0026.

Polygalina G.V., Cherednichenko V.S., Rimareva L.V. Determination of enzyme activity: handbook. Moscow: DeLi print, 2003. 375 p. (In Russ.)

Practical training in microbiology / edited by A.I. Netrusov. Moscow: Academy, 2005. 608 p. (In Russ.)

Ramos J.M., Cuenca-Estrella M., Gutierrez F., Elia M., Rodriguez-Tudela J.L. Clinical Case of Endocarditis due to *Trichosporon inkin* and Antifungal Susceptibility Profile of the Organism. *Journal of Clinical Microbiology*, 2004, pp. 2341–2344. DOI: 10.1128/JCM.42.5.2341-2344.2004.

Ruchai N.S., Grebenchikova I.A. Microbial synthesis technology. Minsk: BSTU, 2014. 167 p. (In Russ.)

Ryabtseva S.A., Skripnyuk A.A. Modern methods for producing  $\beta$ -galactosidase. *Science. Innovations. Technologies*, 2014, no. 3, pp. 197–204. (In Russ.)

Skiba E.A. Technology of yeast production. Biysk: Altai State Technical University, 2010. 121 p. (In Russ.)

Torshkov A.A. Effect of arabinogalactan on the productive qualities of broiler-chicken. *Izvestia OSAU*, 2010, no. 27-1, pp. 203–205. (In Russ.)

Zvereva M.V., Zhmurova A.V. Synthesis, Structure, and Spectral Properties of ZnTe-Containing Nanocomposites Based on Arabinogalactan. *Russian Journal of General Chemistry*, 2022, pp. 1995–2004. DOI:10.1134/S1070363222100139.

Материал поступил в редакцию 25.02.2025

**Галиева А.Р., Крякунова Е.В., Мингазова Л.А., Канарская З.А., Канарский А.В., Кузнецов А.Г.** Получение кормового продукта на основе арабиногалактана и биомассы дрожжеподобных грибов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 321–340. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.321-340

Одной из наиболее острых проблем современного животноводства является обеспечение сбалансированных рационов для кормления сельскохозяйственных животных. Существующий в настоящее время дефицит белка приводит не только к перерасходу кормов, но и к снижению продуктивного потенциала животных. Применение микробной биомассы, в частности, биомассы базидиальных грибов, является перспективным направлением решения проблемы белкового дефицита. В статье базидиальные грибы рассматриваются в качестве перспективных деструкторов отходов переработки древесины, а именно арабиногалактана – природного полисахарида с разветвленной структурой. В работе была показана возможность использования арабиногалактана в качестве источника углерода в составе питательных сред для культивирования дрожжеподобных грибов *Trichosporon moniliiforme*. Было подтверждено наличие у *T. moniliiforme* β-галактозидазного ферментного комплекса, необходимого для расщепления молекулы арабиногалактана. В качестве источника кормового белка в составе кормового продукта наиболее перспективным штаммом дрожжеподобных грибов является штамм *T. moniliiforme* Н<sub>3763</sub>, продемонстрировавший наибольший выход биомассы и редуцирующих веществ при культивировании на питательных средах с различными концентрациями арабиногалактана. Установлено, что с увеличением концентрации арабиногалактана в питательной среде с 2% до 4% наблюдается увеличение выхода кормового продукта, но дальнейшее увеличение концентрации арабиногалактана до 6% не дает статистически значимого увеличения выхода кормового продукта. Таким образом, была показана перспективность использования дрожжеподобных грибов штамма *T. moniliiforme* Н<sub>3763</sub> для микробиологической деструкции арабиногалактана с получением кормового продукта, содержащего кормовой белок, редуцирующие вещества, β-галактозидазу и интактный арабиногалактан.

Ключевые слова: арабиногалактан, кормовой продукт,  $\beta$ -галактозидаза, дрожжеподобные грибы *Trichosporon moniliiforme*, редуцирующие вещества.

**Galieva A.R., Kryakunova E.V., Mingazova L.A., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V., Kuznetsov A.G.** Obtaining of a feed product based on arabinogalactan and biomass of yeast-like fungi. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 321–340 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.321-340

One of the most pressing problems of modern animal husbandry is to provide balanced diets for feeding farm animals. The current protein deficiency leads not only to overconsumption of feed, but also to a decrease in the productive potential of animals. The use of microbial biomass, in particular the biomass of basidiomycetes, is a promising direction for solving the problem of protein deficiency. The article is considered basidiomycetes as promising destructors of wood processing waste, namely, arabinogalactan, a natural polysaccharide with a branched structure. The work demonstrated the possibility of using arabinogalactan as a carbon source in nutrient media for cultivating yeast-like fungi *Trichosporon moniliiforme*. The presence of a  $\beta$ -galactosidase enzyme complex in *T. moniliiforme*, which is necessary for the breakdown of the arabinogalactan molecule, was confirmed. As a source of feed protein in the feed product, the most promising strain of yeast-like fungi is the strain *T. moniliiforme* H3763, which demonstrated the highest yield of biomass and reducing substances after cultivation on nutrient media with different concentrations of arabinogalactan. It was found that the increasing of the arabinogalactan concentration in the nutrient medium from 2% to 4% is corresponding to an increase in the yield of the feed product. A further increasing in the concentration of arabinogalactan to 6% does not provide a statistically significant increase in the yield of the feed product. Thus, it was shown the prospect for using yeast-like fungi of the strain *T. moniliiforme* H<sub>3763</sub> for the microbiological destruction of arabinogalactan for obtaining a feed product, which will contain feed protein, reducing substances,  $\beta$ -galactosidase and intact arabinogalactan.

Keywords: arabinogalactan, feed product,  $\beta$ -galactosidase, yeast-like fungi *Trichosporon moniliiforme*, reducing substances.

---

**ГАЛИЕВА Айгуль Рафиковна** – ассистент кафедры пищевой инженерии Казанского национального исследовательского технологического университета.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия.  
E-mail: af.signal@mail.ru

**GALIEVA Aigul R.** – assistant of the Department of Food Engineering, Kazan National Research Technological University.

420015. K. Marksa str. 68. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: af.signal@mail.ru

**КРЯКУНОВА Елена Вячеславовна** – доцент кафедры пищевой инженерии Казанского национального исследовательского технологического университета, кандидат биологических наук. SPIN-код: 1321-1832. ORCID: 0000-0003-4563-9847.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия.  
E-mail: Oscillatoria@rambler.ru.

**KRYAKUNOVA Elena V.** – PhD (Biology), Associate Professor, Department of Food Engineering, Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 1321-1832. ORCID: 0000-0003-4563-9847.

420015. K. Marksa str. 68. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: Oscillatoria@rambler.ru.

**МИНГАЗОВА Лейсан Азатовна** – старший преподаватель кафедры пищевой инженерии Казанского национального исследовательского технологического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 9532-4010. ORCID: 0000-0003-3289-3977.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия.  
E-mail: zleisan1@mail.ru.

**MINGAZOVA Leysan A.** – PhD (Technical), senior lecturer of the Department of Food Engineering, Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 9532-4010. ORCID: 0000-0003-3289-3977.

420015. K. Marksa str. 68. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: zleisan1@mail.ru

**КАНАРСКАЯ Зося Альбертовна** – доцент кафедры пищевой биотехнологии Казанского национального исследовательского технологического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 2787-1694. ORCID: 0000-0002-8194-6185.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия.  
E-mail: zosya\_kanarskaya@mail.ru

**KANARSKAYA Zosya A.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Food Biotechnology, Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 2787-1694. ORCID: 0000-0002-8194-6185.

420015. K. Marksa str. 68. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: zosya\_kanarskaya@mail.ru

**КАНАРСКИЙ Альберт Владимирович** – профессор кафедры пищевой биотехнологии Казанского национального исследовательского технологического университета, доктор технических наук, профессор. SPIN-код: 2196-2000. ORCID: 0000-0002-3541-2588.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия.  
E-mail: alb46@mail.ru

**KANARSKIY Albert V.** – DSc (Technical), Professor of the Department of Food Biotechnology of the Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 2196-2000. ORCID: 0000-0002-3541-2588.

420015. K. Marksa str. 68. Kazan. Republic of Tatarstan. Russia. E-mail: alb46@mail.ru

**КУЗНЕЦОВ Антон Геннадьевич** – научный сотрудник кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 6118-8553. ORCID: 0000-0003-1476-1065.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: anton.kuznetsov@hotmail.com

**KUZNETSOV Anton G.** – PhD (Technical), Researcher at Pulp and Composites Technology department, Higher School of Technology and Energy of Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 6118-8553. ORCID: 0000-0003-1476-1065.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: anton.kuznetsov@hotmail.com.

**М.Г. Глазунова, Д.В. Иванов**

**ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЩЁЛОЧИ  
И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СИНТЕЗА  
НА СВОЙСТВА ЛИГНОФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ,  
СИНТЕЗИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ**

*Введение.* Рациональное комплексное использование сырья и отходов является актуальной задачей современной промышленности. Широкое распространение в производстве клеёных и древесных композиционных материалов получили фенолоформальдегидные смолы (ФФС), используемые в производстве фанеры повышенной водостойкости и практически всех видов древесных плит [Mantanis et al., 2017; Pizzi et al., 2020]. Их основными недостатками являются высокая токсичность исходных компонентов (фенола и формальдегида) и растущая стоимость. Более 70% затрат на сырьё при производстве смолы составляет фенол [Мебельщики..., 2024], таким образом всё большую значимость приобретает задача его замены альтернативными ресурсами.

Лигнин является высокомолекулярным соединением фенольной структуры, способным вступать в химическое взаимодействие с формальдегидом. Лигнин представляет собой второй по распространённости природный полимер после целлюлозы [Кожевников и др., 2023], промышленное использование которого, тем не менее, затруднено [Евстигнеев, 2022]. Экологичность и сравнительно низкая стоимость [Ago, Fatehi, 2017] делает лигнин наиболее подходящим материалом для замены фенола и синтеза лигнофенолоформальдегидных смол (ЛФС). Около 90% рынка технических лигнинов приходится на лигносульфонаты (ЛСТ) [Gonçalves et al., 2021], что делает их наиболее часто используемым продуктом для исследования и производства ЛФС [Alonso et al., 2005; Ghorbani et al., 2017]. Лигносульфонаты обладают хорошей растворимостью в воде, что определяет их совместимость с условиями синтеза смол.

Химический состав ЛФС существенно изменяется в зависимости от количества фенола, замещённого на лигнин, условий синтеза, мольного соотношения фенол : формальдегид и фенол : гидроксид натрия (соответ-

ственно,  $\text{Fe} : \text{Ф}$  и  $\text{Fe} : \text{NaOH}$ ), что в свою очередь оказывает влияние на свойства синтезированных смол и готовой продукции.

*Цель работы* – установить состав ЛФФС, синтезированных при разной степени замещения фенола на ЛСТ, и оценить влияние степени замещения фенола на свойства синтезированных смол и древесностружечных плит (ДСтП) на их основе.

*Материалы и методика исследования.* Для синтеза лигнофенолоформальдегидных смол использовали следующие компоненты: фенол синтетический технический марки А (ГОСТ 23519–93); гидроксид натрия ч.д.а. (ГОСТ 4328–77) в виде водного раствора концентрацией 40%; параформальдегид марки С (ТУ 6-09-141-03–89); технические лигносульфонаты натрия (табл. 1); дистиллированную воду.

Таблица 1

**Физико-химические свойства лигносульфоната**

**Physico-chemical properties of lignosulfonates**

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	Вязкая жидкость тёмно-коричневого цвета
Плотность, $\text{г/см}^3$	1,247
Массовая доля сухого остатка, %	47,2
Условная вязкость, с	25
Концентрация водородных ионов (рН)	4,4
Массовая доля золы (по а.с.в.), %	19,1
Массовая доля редуцирующих веществ (по а.с.в.), %	10,8

При изготовлении и испытаниях ДСтП в качестве контроля использовали плиты на основе промышленной ФФС марки СФЖ-3014 (ГОСТ 20907–2016). Физико-химические показатели СФЖ-3014 были следующими: массовая доля сухого остатка – 47,5%; условная вязкость (определённая с использованием вискозиметра ВЗ-4) – 70 с; концентрация водородных ионов (рН) – 11,7; содержание щёлочи – 6,6%; содержание свободного фенола – 0,01%; содержание свободного формальдегида – 0,06%.

Синтезировали 4 варианта смол с различной степенью замещения фенола на ЛСТ (табл. 2). Синтез проводили в трёхгорлой колбе, подключенной к механической мешалке и оснащённой термометром и обратным холодильником. Корректировку температуры смеси проводили при помощи во-

дяной бани. Перед подключением колбы к механической мешалке проводили загрузку фенола, дистиллированной воды и водного раствора гидроксида натрия. Загрузку лигносульфонатов проводили при постоянном перемешивании и температуре 45...50 °С. Полученную смесь нагревали до 96...98 °С и выдерживали 1 ч, после чего быстро охлаждали до 45...50 °С и проводили загрузку первой порции параформа. Затем смесь выдерживали в течение 1 ч при температуре 45...50 °С. На следующем этапе на протяжении 15 минут поддерживали температуру 96...98 °С. Реакционную смесь охлаждали до 80 °С и загружали вторую порцию параформа, сохраняли температуру в пределах 80...85 °С на протяжении 15 минут. На конечном этапе готовую смолу охлаждали до 25...30 °С и помещали в тару для хранения.

Таблица 2

**Рецептура синтезированных смол**  
**Formulation of synthesized resins**

Показатель	Значение показателя				
	Б	10	20	30	40
Обозначение образца	Б	10	20	30	40
Вид смолы	ФФС	ЛФС			
Массовая доля замещённого фенола, %	0	10	20	30	40
Мольное соотношение Фе : Ф					
на первой и второй стадиях	1:1,9	1:2,1	1:2,4	1:2,7	1:2,7
на третьей стадии	1:2,1	1:2,3	1:2,6	1:3,0	1:3,0
Мольное соотношение Фе : NaOH	1:0,73	1:0,81	1:0,91	1:1,04	1:1,22
Рецептура, масс. ч.:					
фенол	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
дистиллированная вода	233,4	259,4	291,8	333,5	370,2
NaOH	31,0	34,5	38,8	44,3	51,7
ЛСТ	–	11,1	25,0	42,9	66,7
формальдегид (первая порция)	60,6	67,4	75,8	86,1	86,1
формальдегид (вторая порция)	6,4	7,1	8,0	9,6	9,6

Для изучения свойств синтезированных смол проводили анализ следующих показателей: массовая доля сухого остатка (ГОСТ 20907–2016); условная вязкость, с применением вискозиметра ВЗ-4 (ГОСТ 8420–2022); концентрация водородных ионов (рН); содержание щёлочи (ГОСТ 20907–2016) и

содержание свободного формальдегида (ГОСТ 16704–2017, метод 1) методом потенциометрического титрования с использованием прибора pH-410; содержание свободного фенола определяли методом отгонки водяным паром (ГОСТ 20907–75, прил. 3).

Изучение химического состава компонентов синтезированных смол осуществляли при помощи качественного и количественного анализа методом ЯМР  $^{13}\text{C}$ . При подготовке проб в качестве растворителя использовали дейтерированную воду ( $\text{D}_2\text{O}$ ). Для проведения анализа из каждого образца в процессе синтеза отбирали три пробы: 1 – преконденсат (реакционная смесь сразу после первой стадии синтеза), 2 – образец после этапа выдержки с первой порцией параформа и 3 – проба готовой смолы (сразу после завершения синтеза). В пробирках смешивали 300 мкл анализируемой пробы и 150 мкл растворителя. Измерения проводили на спектрометре «Bruker», работающем на частоте 100 МГц, с проведением 1024 измерений в течение 1 ч.

С использованием синтезированных смол и смолы СФЖ-3014 изготавливали однослойные ДСтП размерами  $200 \times 200 \times 10$  мм и расчётной плотностью  $680 \text{ кг/м}^3$ . В качестве наполнителя использовали берёзовую стружку абсолютной влажностью 3%. Для обеспечения одинаковой влажности осмолённой стружки связующее разбавляли до концентрации 38%. Содержание смол принимали равным 8% от массы абсолютно сухой стружки. Осмоление проводили с использованием пневматического распылителя. ДСтП прессовали при температуре  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , удельном давлении 2,8 МПа и удельной продолжительности 0,7 мин/мм толщины готовой плиты.

В ходе испытаний ДСтП определяли следующие показатели: плотность (ГОСТ 10634–88), прочность при изгибе (ГОСТ 10632–2014), прочность при растяжении перпендикулярно пласти (ГОСТ 10636–2018), разбухание и водопоглощение в холодной воде за 24 ч (ГОСТ 10633–2018), содержание свободного формальдегида баночным методом [Васильев, 2024]. Также определяли разбухание и водопоглощение образцов в кипящей воде. Для этого образцы размером  $50 \times 35$  мм помещали в стеклянный стакан объёмом  $500 \text{ см}^3$  и фиксировали на требуемом уровне при помощи ограничителей из металлической сетки. Затем стакан устанавливали на электрическую плитку, заливали  $400 \text{ см}^3$  кипящей дистиллированной воды и поддерживали кипение в течение 1 ч. После извлечения образцов определение показателей проводили в соответствии со стандартной методикой.

*Результаты и обсуждение.* С увеличением степени замещения фенола на ЛСТ в синтезированных образцах растут массовая доля сухого остатка и условная вязкость; концентрация ионов водорода (pH) незначительно уве-

личивается, при этом массовая доля щёлочи остаётся на одном уровне (табл. 3). Все синтезированные смолы обладают низкой условной вязкостью, что может быть обусловлено недостаточной глубиной поликонденсации.

Таблица 3

**Физико-химические показатели синтезированных смол****Physico-chemical properties of synthesized resins**

Наименование показателя	Обозначение образца				
	Б	10	20	30	40
Массовая доля сухого остатка, %	40,5	44,6	44,7	44,9	45,9
Условная вязкость, с	14	13	14	15	16
Концентрация ионов водорода (рН)	10,4	10,5	10,6	10,7	10,9
Содержание, %:					
щёлочи	7,0	6,8	6,7	6,6	6,7
свободного фенола	0,36	0,08	0,15	0,20	0,33
свободного формальдегида	0,03	0,29	0,20	0,18	0,17

Содержание свободного фенола в смоле 10 по сравнению со смолой Б снижается в 4,5 раза, однако при дальнейшем увеличении степени замещения фенола на лигнин содержание остаточного фенола увеличивается. Аналогично смола 10 содержит в 9,6 раза больше свободного формальдегида, чем смола Б, при этом в смолах 20, 30, 40 содержание свободного формальдегида по сравнению со смолой 10 снижается. Возможно, ЛСТ, взаимодействуя с формальдегидом в ходе синтеза, снижает количество формальдегида, вступающего в реакцию с фенолом, что приводит к росту содержания свободного фенола в готовой смоле. При этом из-за низкой химической активности ЛСТ по сравнению с фенолом общее содержание формальдегида в ЛФФС по сравнению с базовой ФФС увеличивается.

Методом спектроскопии ЯМР  $^{13}\text{C}$  (рис. 1) в синтезированных образцах удалось обнаружить только производные фенола и формальдегида. Сигналы, характерные для лигнина, на спектрах не наблюдаются. По аналогии с другими препаратами лигнина [Zakusilo et al., 2023], отсутствие сигналов ЛСТ можно объяснить низким содержанием ЛСТ в реакционной смеси даже при высокой степени замещения фенола. О взаимодействии лигнина с другими компонентами можно судить только по косвенным признакам, а именно по изменению доли ядер  $^{13}\text{C}$  фенолоспиртов и фенолоформальдегидных олигомеров (ФФ-олигомеров).

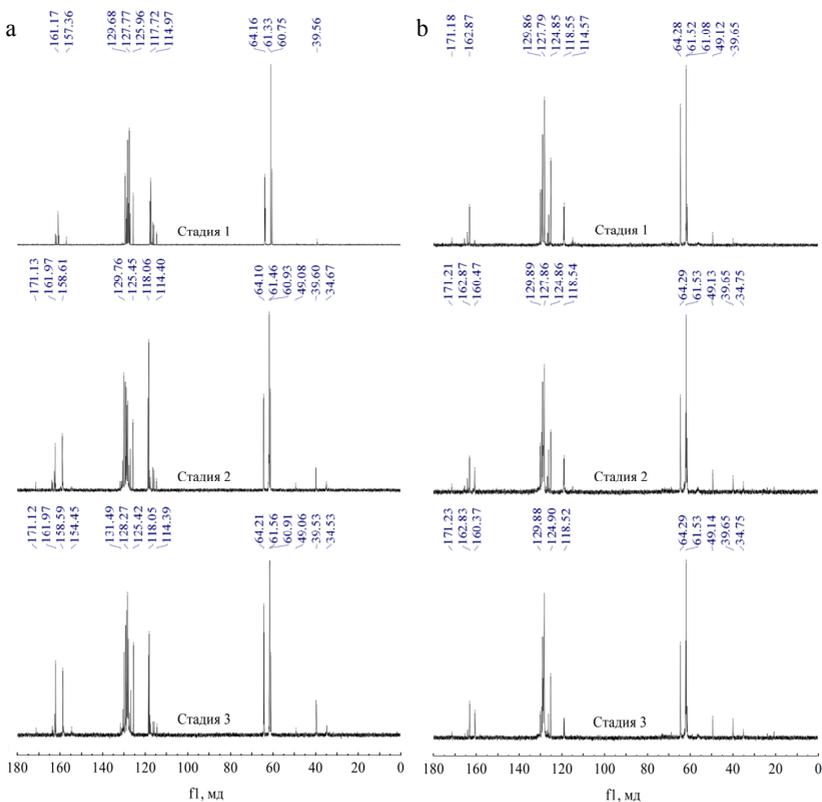


Рис. 1. Спектры ЯМР  $^{13}\text{C}$  базовой фенолоформальдегидной смолы (а) и лигнофенолоформальдегидной смолы с 40% фенола, замещённого на лигносульфонаты (б), снятые на разных этапах синтеза (1000 МГц,  $\text{D}_2\text{O}$ )

Fig. 1.  $^{13}\text{C}$  NMR spectra of base phenol-formaldehyde resin (a) and lignin-phenol-formaldehyde resin with 40% phenol replaced by lignosulfonates (b) after the three syntheses stage (1000 MHz,  $\text{D}_2\text{O}$ )

На первой стадии синтеза как ФФС (смола Б), так и ЛФФС образуются, главным образом, фенолоспирты. О незначительном содержании ФФОлигомеров в преконденсатах (реакционная смесь после первой стадии синтеза) свидетельствуют сигналы в области 39–41 м.д., характерные для метиленовой связи *para-para*'. На спектрах реакционной смеси после второй стадии синтеза появляются сигналы в области 33–36 м.д., характерные для метиленовых связей *ortho-para*', что свидетельствует об углублении поликонденсации.

На спектрах всех синтезированных образцов на всех стадиях синтеза наблюдаются сигналы в области 115–119 м.д., характерные для свободного *орто*-положения ароматического кольца. Наличие свободных реакционных центров в ароматических кольцах подтверждает сравнительно низкую активность взаимодействия фенола с формальдегидом, что согласуется с результатами химического анализа синтезированных смол (табл. 3).

На спектрах всех синтезированных смол отсутствуют сигналы в области 81...87 м.д., относящиеся к производным свободного формальдегида. При использовании ЛСТ на спектрах появляются пики, характерные для диметиленэфирных связей. На спектрах ЛФФС выделяются пики, характерные для ядер  $^{13}\text{C}$  метанола и формиат-иона (прочие компоненты), отсутствующие у базовой смолы. Поскольку в качестве источника формальдегида использовали безметанольное сырьё (параформ), появление метанола и солей муравьиной кислоты указывает на превращения формальдегида по реакции Канниццаро-Тищенко [Огородников, 1984].

Количественный анализ подтвердил значительное влияние ЛСТ на образование фенолоспиртов и ФФ-олигомеров (табл. 4–6). Как правило, увеличение количества формальдегида относительно фенола при синтезе ФФС приводит к полному расходу свободных реакционных центров ароматических колец [Christjanson et al., 2010], однако, согласно данным спектроскопии ЯМР  $^{13}\text{C}$ , свободные *орто*-положения остаются даже в готовых смолах, синтезированных при конечном соотношении  $\text{Фе} : \text{Ф} = 1 : 3,0$  (образцы 30 и 40). Возможно, часть формальдегида расходуется на взаимодействие с ЛСТ, что приводит к сохранению в ароматических кольцах фенолоспиртов и ФФ-олигомеров свободных реакционных центров.

О вероятном взаимодействии формальдегида с ЛСТ также свидетельствует изменение доли ядер  $^{13}\text{C}$  свободных *орто*-положений в ряду 10–40. Так, доля ядер  $^{13}\text{C}$ , относящихся к свободным реакционным центрам, снижается до 30% фенола, замещённого на ЛСТ, и возрастает при дальнейшем замещении фенола. В ряду 10–30 уменьшение количества фенола в реакционной смеси сопровождается ростом количества формальдегида по отношению к фенолу согласно рецептуре смол; начиная с 30% фенола, замещённого на ЛСТ, количество формальдегида в реакционной смеси уменьшается вместе с фенолом и мольное соотношение  $\text{Фе} : \text{Ф}$  далее не меняется (табл. 2). Возможно, в ряду 10–30 взаимодействие формальдегида с ЛСТ компенсируется увеличивающимся количеством формальдегида по отношению к фенолу; когда мольное соотношение  $\text{Фе} : \text{Ф}$  фиксируется на заданном уровне, действие лигнина приводит к росту содержания свободных *орто*-положений.

Таблица 4

**Характеристики спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  образцов на первой стадии синтеза**  
 $^{13}\text{C}$  NMR assignments and their quantitative analysis results  
of investigated resins after first synthesis stage

Структура	Химический сдвиг, м.д.	Обозначение смолы				
		Б	10	20	30	40
Метиленовый углерод	–	29,13 100	33,48 100	34,68 100	36,57 100	35,40 100
Метиленовые связи <i>para</i> –CH <sub>2</sub> – <i>para</i> '	– 39,0–41,0	1,87 1,87	1,65 1,65	1,65 1,65	1,65 1,65	1,16 1,16
Эфирные структуры Ф–CH <sub>2</sub> –О–CH <sub>2</sub> –Ф Ф–CH <sub>2</sub> –О–CH <sub>2</sub> ОН	– 70,0–72,0 65,7–70,6	– – –	– – –	– – –	– – –	0,35 – 0,35
Метилольные группы <i>ortho</i> –CH <sub>2</sub> ОН <i>para</i> –CH <sub>2</sub> ОН	– 61,4–62,3 63,0–66,0	98,13 63,87 34,25	98,35 66,81 31,54	98,35 64,00 34,33	98,35 63,61 34,74	98,49 63,59 34,90
Ароматическое кольцо	–	70,87 100	66,34 100	65,11 100	63,05 100	63,61 100
св. <i>ortho</i> –положение C2–C6 C1	115–119 127–133 152–164	22,65 66,50 10,86	18,67 70,90 10,44	13,42 76,77 9,82	7,49 82,97 9,54	10,13 79,72 10,15
Прочее	–	– 100	0,18 100	0,21 100	0,38 100	0,98 100
Метанол Формиат-ион	49,0–50,0 170–172	– –	41,18 58,82	33,33 66,67	36,36 63,64	45,83 54,17

Схожим образом ЛСТ влияет на изменение общего содержания метиленового углерода. Так, в преконденсатах ЛФФС образцов 10, 20 и 30 по сравнению с образцом Б доля ядер  $^{13}\text{C}$  метиленового углерода увеличивается, а в преконденсате образца 40 снижается (табл. 4). Возможно, при синтезе образца 40 часть формальдегида взаимодействует с ЛСТ и становится невидимой для спектроскопии; в ряду 10–30 взаимодействие формальдегида с ЛСТ также возможно, но снижение доли метиленового углерода для преконденсатов 10, 20 и 30 компенсируется увеличением количества формальдегида по отношению к фенолу.

Таблица 5

**Характеристики спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  образцов на второй стадии синтеза**  
 **$^{13}\text{C}$  NMR assignments and their quantitative analysis results**  
**of investigated resins after second synthesis stage**

Структура	Химический сдвиг, м.д.	Обозначение смолы				
		Б	10	20	30	40
Метиленовый углерод	–	$\frac{29,35}{100}$	$\frac{35,30}{100}$	$\frac{34,41}{100}$	$\frac{36,11}{100}$	$\frac{33,73}{100}$
Метиленовые связи	–	11,12	8,13	9,89	8,79	6,51
<i>орто</i> –CH <sub>2</sub> – <i>пара</i> '	33,0–35,9	3,31	2,24	2,98	2,46	1,57
<i>пара</i> –CH <sub>2</sub> – <i>пара</i> '	39,0–41,0	7,81	5,89	6,87	6,33	4,94
<i>пара</i> – <i>пара</i> ' : <i>орто</i> – <i>пара</i> '	–	1:0,42	1:0,38	1:0,43	1:0,39	1:0,32
Эфирные структуры	–	–	–	–	–	0,72
Ф–CH <sub>2</sub> –О–CH <sub>2</sub> –Ф	70,0–72,0	–	–	–	–	–
Ф–CH <sub>2</sub> –О–CH <sub>2</sub> ОН	65,7–70,6	–	–	–	–	0,72
Метилольные группы	–	88,88	91,87	90,11	91,21	92,77
<i>орто</i> –CH <sub>2</sub> ОН	61,4–62,3	67,02	72,29	70,12	69,35	67,06
<i>пара</i> –CH <sub>2</sub> ОН	63,0–66,0	21,85	19,58	19,99	21,86	25,70
Ароматическое кольцо	–	$\frac{70,55}{100}$	$\frac{64,58}{100}$	$\frac{65,39}{100}$	$\frac{63,40}{100}$	$\frac{65,18}{100}$
св. <i>орто</i> –положение	115–119	18,02	14,30	10,32	5,58	8,52
C2–C6	127–133	71,35	74,63	79,90	84,85	79,13
C1	152–164	10,63	11,07	9,78	9,57	12,35
Прочее	–	$\frac{0,10}{100}$	$\frac{0,12}{100}$	$\frac{0,28}{100}$	$\frac{0,48}{100}$	$\frac{1,09}{100}$
Метанол	49,0–50,0	33,33	60,00	37,04	41,30	47,37
Формиат-ион	170–172	66,67	40,00	62,96	58,70	52,63

Поскольку в щелочной среде при поликонденсации фенолоспиртов в первую очередь образуются метиленовые связи *пара*–*пара*' , а связи *орто*–*орто*' не образуются вовсе, о молекулярной массе ФФ-олигомеров косвенно можно судить по соотношению связей *пара*–*пара*' и *орто*–*пара*' . Для олигомеров всех синтезированных смол количество связей *орто*–*пара*' по отношению к связям *пара*–*пара*' не превышает 1,00 (табл. 6), таким образом, как в ба-

зовой ФФС, так и во всех ЛФФС преобладают олигомеры, состоящие из двух остатков фенола, соединённых одной метиленовой связью *para-para'* (рис. 3а). Поскольку клеящие ФФС, как правило, содержат ФФ-олигомеры, состоящие из трёх-четырёх остатков фенола [Christjanson et al., 2007, 2010], глубину поликонденсации всех синтезированных смол можно считать недостаточной.

Таблица 6

**Характеристики спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  образцов на третьей стадии синтеза**

**$^{13}\text{C}$  NMR assignments and their quantitative analysis results of investigated resins after third synthesis stage**

Структура	Химический сдвиг, м.д.	Обозначение смолы				
		Б	10	20	30	40
Метиленовый углерод	–	$\frac{32,26}{100}$	$\frac{37,58}{100}$	$\frac{36,07}{100}$	$\frac{38,32}{100}$	$\frac{37,58}{100}$
Метиленовые связи	–	11,67	9,02	10,11	10,28	7,89
<i>орто</i> -CH <sub>2</sub> - <i>para'</i>	33,0–35,9	3,95	3,11	3,59	3,74	2,15
<i>para</i> -CH <sub>2</sub> - <i>para'</i>	39,0–41,0	7,72	5,91	6,52	6,54	5,73
<i>para-para'</i> : <i>орто-para'</i>	–	1:0,51	1:0,53	1:0,55	1:0,57	1:0,38
Эфирные структуры	–	–	–	–	0,18	0,50
Ф-CH <sub>2</sub> -О-CH <sub>2</sub> -Ф	70,0–72,0	–	–	–	–	–
Ф-CH <sub>2</sub> -О-CH <sub>2</sub> ОН	65,7–70,6	–	–	–	0,18	0,50
Метилольные группы	–	88,33	90,96	89,89	89,16	91,62
<i>орто</i> -CH <sub>2</sub> ОН	61,4–62,3	68,84	73,76	72,52	71,37	71,34
<i>para</i> -CH <sub>2</sub> ОН	63,0–66,0	19,49	17,20	17,37	17,89	20,28
Ароматическое кольцо	–	$\frac{67,56}{100}$	$\frac{62,07}{100}$	$\frac{63,55}{100}$	$\frac{60,99}{100}$	$\frac{62,20}{100}$
св. <i>орто</i> -положение	115–119	12,67	9,28	4,59	2,93	4,33
С2–С6	127–133	76,23	79,73	85,09	87,47	86,14
С1	152–164	11,10	11,00	10,34	9,59	9,52
Прочее	–	$\frac{0,18}{100}$	$\frac{0,27}{100}$	$\frac{0,41}{100}$	$\frac{0,49}{100}$	$\frac{1,22}{100}$
Метанол	49,0–50,0	50,00	25,00	28,26	36,54	50,00
Формиат-ион	170–172	50,00	75,00	71,74	63,46	50,00

Влияние содержания лигнина в синтезированных смолах на свойства готовой продукции оценивали по результатам физико-механических испытаний ДСтП (табл. 7). Плиты на основе базовой ФФС отличаются низкими физико-механическими свойствами. Частичная замена фенола на ЛСТ позволяет несколько улучшить показатели ДСтП, однако даже самые прочные и водостойкие плиты среди образцов на основе синтезированных смол (ДСтП на основе смолы 20) отличаются в 1,9 раз меньшей прочностью при растяжении и на 20% бóльшим разбуханием в кипящей воде, чем плиты на основе промышленной СФЖ-3014. Единственный показатель, по которому плиты на основе ЛФФС не уступают плитам на основе СФЖ-3014 – содержание формальдегида.

Таблица 7

**Физико-механические показатели древесностружечных плит**  
**Physical and mechanical properties of particle boards**

Наименование показателя	Образец смолы					
	Б	10	20	30	40	СФЖ-3014
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	689	667	677	679	664	682
Прочность при изгибе, МПа	15,8	14,5	21,0	20,9	20,4	26,6
Прочность при растяжении, МПа	0,09	0,18	0,22	0,20	0,20	0,45
Разбухание по толщине, %						
в холодной воде за 24 ч	44	33	39	40	41	36
в кипящей воде за 1 ч	72	66	67	76	93	53
Водопоглощение, %						
в холодной воде за 24 ч	95	89	92	102	108	98
в кипящей воде за 1 ч	113	139	142	146	148	103
Содержание формальдегида, мг/100 г	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5
Показатели, приведённые к плотности 680 кг/м <sup>3</sup>						
Прочность при изгибе, МПа	15,7	15,3	21,1	20,9	20,6	26,4
Прочность при растяжении, МПа	0,09	0,18	0,24	0,20	0,20	0,46
Разбухание по толщине, %						
в холодной воде за 24 ч	43	33	39	40	42	39
в кипящей воде за 1 ч	71	66	68	77	94	53

Одной из причин низких физико-механических свойств как базовой ФФС, так и ЛФФС может быть невысокая реакционная способность смол из-за высокого содержания щёлочи [Raju et al., 2009; Christjanson et al., 2010] и сравнительно низкой молекулярной массы ФФ-олигомеров, образующихся в ходе синтеза. Снижение содержания щёлочи в реакционной смеси позволяет повысить реакционную способность смол и интенсифицировать поликонденсацию. Среднещелочные [Raju et al., 2009] смолы синтезировали по следующей рецептуре, масс. ч.: фенол – 100, вода – 276,9, NaOH – 31,0, ЛСТ – 42,9, формальдегид (первая порция) – 86,16, формальдегид (вторая порция) – 9,57.

Таким образом, степень замещения фенола на ЛСТ в среднещелочных смолах составила 30%, содержание щёлочи – 3,7–3,9%. С целью увеличения молекулярной массы ФФ-олигомеров в ходе синтеза среднещелочных ЛФФС увеличили продолжительность выдержки реакционной смеси на второй стадии синтеза, т.к. именно на второй стадии, главным образом, идёт поликонденсация фенолоспиртов (табл. 5). Показатели среднещелочных ЛФФС, позволяющие судить об интенсивности поликонденсации, приведены на рис. 2.

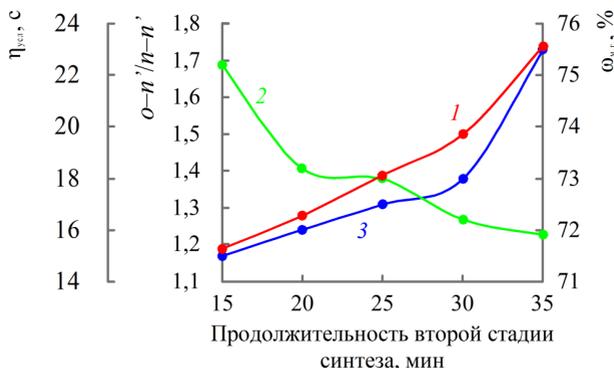


Рис. 2. Свойства среднещелочных лигнофенолформальдегидных смол, синтезированных при разной продолжительности второй стадии синтеза:

- 1 – доля метиленовых связей *орто-пара'* к одной связи *пара-пара'* ( $o-n'/n-n''$ );
- 2 – доля ядер  $^{13}\text{C}$  метилольных групп от метиленового углерода по данным спектроскопии ЯМР  $^{13}\text{C}$  ( $\omega_{\text{м.г.}}$ , %);
- 3 – условная вязкость ( $\eta$ , с)

Fig. 2. Properties of medium alkaline lignin-phenol-formaldehyde resins prepared at different second stage time synthesis:

- 1 – ratio of *o,p'*- to *p,p'*-methylenes ( $o-p'/p-p'$ );
- 2 – methylol groups content calculation relative to methylene carbon according to  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy ( $\omega_{\text{m.g.}}$ , %);
- 3 – conditional viscosity ( $\eta$ , s)

Режим синтеза среднешелочной ЛФФС с продолжительностью выдержки реакционной смеси на второй стадии синтеза 15 мин совпадает с режимом синтеза смолы 30. При этом соотношение метиленовых связей *para-para'* : *орто-para'* для ФФ-олигомеров среднешелочной смолы составляет 1 : 1,19, в то время как для олигомеров высокощелочной смолы 30 только 1 : 0,57 (табл. 6). Таким образом, подтверждается предположение о благоприятном влиянии снижения содержания щёлочи в реакционной смеси на интенсивность поликонденсации.

ФФ-олигомеры, составляющие среднешелочные ЛФФС, состоят, главным образом, из трёх остатков фенола, соединённых одной метиленовой связью *para-para'* и одной метиленовой связью *орто-para'* (рис. 3б). С увеличением продолжительности выдержки реакционной смеси на второй стадии синтеза молекулярная масса олигомеров растёт, содержание метиловых групп в готовых смолах снижается. Увеличение молекулярной массы олигомеров сопровождается ростом условной вязкости ЛФФС.

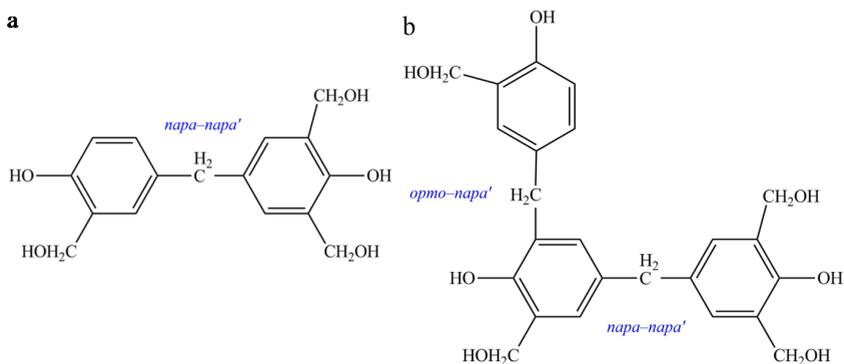


Рис. 3. Фенолоформальдегидные олигомеры высокощелочных (а) и среднешелочных (б) лигнофенолоформальдегидных смол

Fig. 3. Phenol-formaldehyde oligomers of high (a) and medium (b) alkaline lignin-phenol-formaldehyde resins

На физико-механических показателях ДСтП увеличение продолжительности синтеза ЛФФС сказывается неоднозначно (рис. 4). Смола, полученная при продолжительности второй стадии синтеза 15 мин, по прочности и водостойкости превосходит смолу 30. Увеличение продолжительности поликонденсации приводит к стабильному росту прочности при растяжении перпендикулярно пласти ДСтП, однако разбухание по толщине, как в хо-

лодной воде, так и при кипячении снижается только до 25 мин выдержки реакционной смеси на второй стадии. Дальнейшее увеличение продолжительности второй стадии негативно сказывается на водостойкости плит.

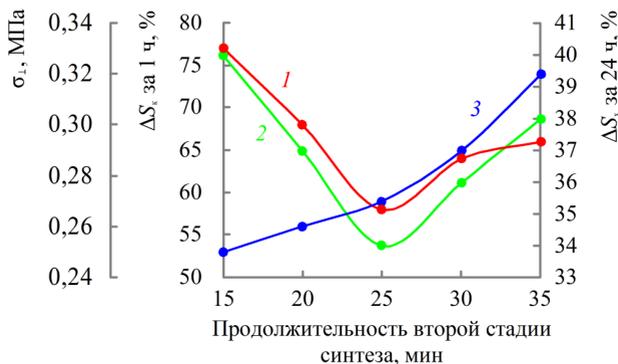


Рис. 4. Свойства древесностружечных плит на основе лигнофенолоформальдегидных смол:

- 1 – разбухание по толщине при кипячении образца в течение 1 ч ( $\Delta S_k$  за 1 ч, %);  
 2 – разбухание по толщине при выдержке образца в холодной воде в течение 24 ч ( $\Delta S_c$  за 24 ч, %);  
 3 – предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти ( $\sigma_{\perp}$ , МПа)

Fig. 4. Properties of the medium alkaline lignin-phenol-formaldehyde resins-based particleboard:

- 1 – thickness swelling after 1 h aging at boiling ( $\Delta S_b$  at 1 h, %); 2 – thickness swelling after 24 h aging in cold water ( $\Delta S_c$  at 24 h, %); 3 – internal bonding strength ( $\sigma_{\perp}$ , MPa)

По сравнению с ДСтП на основе лучшей высокощелочной ЛФФС (смола 20), плиты на основе лучшей среднещелочной смолы (смола, синтезированная при продолжительности второй стадии синтеза 25 мин) отличаются на 23% большей прочностью при растяжении перпендикулярно пласти, на 13,4% меньшим разбуханием в кипящей воде и на 12,8% меньшим разбуханием в холодной воде. Снижение содержания щёлочи в реакционной смеси и увеличение продолжительности поликонденсации позволяет значительно улучшить свойства ЛФФС, однако промышленной СФЖ-3014 самая лучшая среднещелочная ЛФФС по-прежнему уступает по способности обеспечивать высокие физико-механические показатели древесных плит.

#### Выводы.

1. Частичная замена фенола на технические лигносульфонаты натрия (ЛСТ) позволяет синтезировать лигнофенолоформальдегидные смолы (ЛФФС), не уступающие по своим физико-химическим характеристикам

базовой фенолоформальдегидной смоле (ФФС). При высоком содержании щёлочи в реакционной смеси (6,6–7,0%) лучшими показателями обладают смолы с 20% фенола, замещённого на ЛСТ;

2. В условиях синтеза высокощелочных лигнофенолоформальдегидных смол образуются фенолоформальдегидные олигомеры (ФФ-олигомеры) сравнительно низкой молекулярной массы, состоящие, главным образом, из двух остатков фенола. При высоком содержании щёлочи в реакционной смеси формальдегид взаимодействует с лигнином, главным образом, на первой стадии синтеза смол.

3. ЛФФС, синтезированные при высоком содержании щёлочи в реакционной смеси, отличаются низкой реакционной способностью, что приводит к невысокой прочности и водостойкости древесностружечных плит (ДСтП), изготовленных на их основе. Снижение содержания щёлочи в реакционной смеси до 3,7–3,9% позволяет повысить реакционную способность смол и физико-механические показатели ДСтП;

4. При увеличении продолжительности второй стадии синтеза ЛФФС (поликонденсация фенолоспиртов) растут молекулярная масса ФФ-олигомеров и условная вязкость смол, что приводит к увеличению прочности при растяжении перпендикулярно пласти ДСтП. Водостойкость плит при увеличении продолжительности второй стадии синтеза с 15 до 25 мин растёт, однако при дальнейшем увеличении до 35 мин снижается.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

*Васильев В.В.* Экспресс-метод определения содержания формальдегида в древесных плитах // Бюллетень Ассоциации ЛЕСТЕХ. 2024. № 3(17). С. 32–35.

*Евстигнеев Э.И.* Проблемы валоризации лигнина // Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 11–33. DOI: 10.14258/jcprgm.2022019211.

*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/jcrm.20230211737.

Мебельщики сдерживают рост цен // ЛесПромИнформ. 2024. №4 (182). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6733> (дата обращения: 17.01.2025)

*Огородников С.К.* Формальдегид. Л.: Химия, 1984. 280 с.

*Alonso M.V., Oliet M., Rodríguez F., García J., Gilarranz M.A., Rodríguez J.J.* Modification of ammonium lignosulfonate by phenolation for use in phenolic resins // Biore-sour. Technol. 2005. Vol. 96, iss. 9. P. 1013–1018. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.09.009.

*Aro T., Fatehi P.* Production and Application of Lignosulfonates and Sulfonated Lignin // ChemSusChem. 2017. Vol. 10, iss. 9. P. 1861–1877. DOI: 10.1002/cssc.201700082.

*Christjanson P., Pehk T., Siimer K., Paju J.* Structure of polycondensates from hydroxymethylphenols // *J. Appl. Polym. Sci.* 2007. Vol. 107. P. 1226–1234. DOI: 10.1002/app.27171.

*Christjanson P., Pehk T., Paju J.* Structure and curing mechanism of resol phenol-formaldehyde prepolymer resins // *Proc. Estonian Acad. Sci.* 2010. Vol. 59. P. 225–232. DOI: 10.3176/proc.2010.3.05.

*Ghorbani M., Konnerth J., van Herwijnen H.W.G., Zinovyev G., Budjav E., Requejo Silva A., Liebner F.* Commercial liginosulfonates from different sulfite processes as partial phenol replacement in PF resole resins // *J. Appl. Polym. Sci.* 2017. Vol. 135, iss. 8. Art. no. 45893. DOI: 10.1002/app.45893.

*Gonçalves S., Ferra J., Paiva N., Martins J., Carvalho L.H., Magalhães F.D.* Liginosulphonates as an Alternative to Non-Renewable Binders in Wood-Based Materials // *Polymers.* 2021. Vol. 13(23). Art. no. 4196. DOI: 10.3390/polym13234196.

*Mantanis G.I., Athanassiadou E.Th., Barbu M.C., Wijnendaele K.* Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries // *Wood Mater. Sci. Eng.* 2017. Vol. 13, iss. 2. P. 104–116. DOI: 10.1080/17480272.2017.1396622.

*Paju J., Pehk T., Christjanson P.* Structure of phenol-formaldehyde polycondensates // *Proc. Estonian Acad. Sci.* 2009. Vol. 58. P. 45–52. DOI: 10.3176/proc.2009.1.08.

*Pizzi A., Papadopoulou A.N., Policardi F.* Wood Composites and Their Polymer Binders // *Polymers.* 2020. Vol. 15, iss. 5. Art. no. 1115. DOI: 10.3390/polym12051115.

*Zakusilo D.N., Evstigneyev E.I., Ivanov A.Y., Mazur A.S., Bessonova E.A., Mameri O.A., Vasilyev A.V.* Structure of oxidized hydrolysis lignin // *J. Wood Chem. Technol.* 2023. Vol. 43, iss. 2. P. 103–115. DOI: 10.1080/02773813.2023.2187064.

## References

*Alonso M.V., Oliet M., Rodríguez F., García J., Gilarranz M.A., Rodríguez J.J.* Modification of ammonium liginosulfonate by phenolation for use in phenolic resins. *Bioresour. Technol.*, 2005, vol. 96, iss. 9, pp. 1013–1018. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.09.009.

*Aro T., Fatehi P.* Production and Application of Liginosulfonates and Sulfonated Lignin. *ChemSusChem.*, 2017, vol. 10, iss. 9, pp. 1861–1877. DOI: 10.1002/cssc.201700082.

*Christjanson P., Pehk T., Siimer K., Paju J.* Structure of polycondensates from hydroxymethylphenols. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007, vol. 107, pp. 1226–1234. DOI: 10.1002/app.27171.

*Christjanson P., Pehk T., Paju J.* Structure and curing mechanism of resol phenol-formaldehyde prepolymer resins. *Proc. Estonian Acad. Sci.*, 2010, vol. 59, pp. 225–232. DOI: 10.3176/proc.2010.3.05.

*Evstigneyev E.I.* Lignin valorization problems. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 11–33. DOI: 10.14258/jcprm.2022019211. (In Russ.)

Furniture makers restrain price growth. *LesPromInform*, 2024, vol. 4 (182). URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=6733> (accessed January 17, 2025). (In Russ.)

Ghorbani M., Konnerth J., van Herwijnen H.W.G., Zinovyev G., Budjav E., Requejo Silva A., Liebner F. Commercial lignosulfonates from different sulfite processes as partial phenol replacement in PF resole resins. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2017, vol. 135, iss. 8, art. no. 45893. DOI: 10.1002/app.45893.

Gonçalves S., Ferra J., Paiva N., Martins J., Carvalho L.H., Magalhães F.D. Lignosulphonates as an Alternative to Non-Renewable Binders in Wood-Based Materials. *Polymers*, 2021, vol. 13(23), art. no. 4196. DOI: 10.3390/polym13234196.

Kozhevnikov A.Yu., Shestakov S.L., Sypalova Yu.A. Issues of the structural organization of lignin and prospects for its processing. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 5–26. DOI: 10.14258/jcrm.20230211737. (In Russ.)

Mantanis G.I., Athanassiadou E.Th., Barbu M.C., Wijnendaele K. Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries. *Wood Mater. Sci. Eng.*, 2017, vol. 13, iss. 2, pp. 104–116. DOI: 10.1080/17480272.2017.1396622.

Ogorodnikov S.K. Formaldehyde. Leningrad: Chemistry, 1984. 280 p. (In Russ.)

Paju J., Pehk T., Christjanson P. Structure of phenol-formaldehyde polycondensates. *Proc. Estonian Acad. Sci.*, 2009, vol. 58, pp. 45–52. DOI: 10.3176/proc.2009.1.08.

Pizzi A., Papadopoulos A.N., Policardi F. Wood Composites and Their Polymer Binders. *Polymers*, 2020, vol. 15, iss. 5, art. no. 1115. DOI: 10.3390/polym12051115.

Vasiliev V.V. Rapid method for determining formaldehyde content in wood boards. *Bulletin of the LESTECH Association*, 2024, no. 3(17), pp. 32–35. (In Russ.)

Zakusilo D.N., Evstigneyev E.I., Ivanov A.Y., Mazur A.S., Bessonova E.A., Mammeri O.A., Vasilyev A.V. Structure of oxidized hydrolysis lignin. *J. Wood Chem. Technol.*, 2023, vol. 43, iss. 2, pp. 103–115. DOI: 10.1080/02773813.2023.2187064.

*Материал поступил в редакцию 28.01.2025*

**Глазунова М.Г., Иванов Д.В.** Влияние содержания щёлочи и продолжительности синтеза на свойства лигнофенолоформальдегидных смол, синтезированных с использованием технических лигносульфонатов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 341–359. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.341-359

Изучены состав и свойства лигнофенолоформальдегидных смол, синтезированных с использованием технических лигносульфонатов натрия. На первом этапе синтезировали высокощелочные смолы, замещая до 40% фенола на лигносульфонаты; на втором этапе синтезировали среднешелочные смолы с 30% замещённого на лигносульфонаты фенола, варьируя продолжительность этапа поликонденсации с 15 до 35 мин. Методом спектроскопии ЯМР <sup>13</sup>C установлено,

что высокощелочные смолы содержат преимущественно фенолоформальдегидные олигомеры невысокой молекулярной массы, состоящие из двух остатков фенола; взаимодействие формальдегида с лигносульфонатами идёт преимущественно на первой стадии синтеза, в ходе выдержки реакционной смеси при 55–60 °С. Высокощелочные лигнофенолоформальдегидные смолы, синтезированные при замещении 20% фенола на лигносульфонаты, обеспечивают самые высокие физико-механические показатели древесностружечных плит среди всех высокощелочных смол, однако плиты, изготовленные с их использованием, значительно уступают плитам, изготовленным с использованием промышленной фенолоформальдегидной смолы СФЖ-3014. Снижение содержания щёлочи и увеличение продолжительности выдержки реакционной смеси при 96–98 °С позволяет значительно повысить молекулярную массу фенолоформальдегидных олигомеров и улучшить физико-механические показатели древесностружечных плит на основе лигнофенолоформальдегидных смол. Фенолоформальдегидные олигомеры среднещелочных смол состоят, главным образом, из трёх остатков фенола. Древесностружечные плиты на основе среднещелочных смол, синтезированных при выдержке реакционной смеси при 96–98 °С в течение 25 мин, соответствуют всем требованиям стандарта, однако плиты на основе среднещелочных лигнофенолоформальдегидных смол по-прежнему уступают плитам на основе СФЖ-3014.

Ключевые слова: лигносульфонаты, лигнофенолоформальдегидная смола, фенолоформальдегидная смола, поликонденсация, древесностружечные плиты.

**Glazunova M.G., Ivanov D.V.** Effect of alkali content and synthesis duration on the properties of lignin-phenol-formaldehyde resins prepared with technical lignosulfonates. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 341–359 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.341-359

The structure and properties of lignin-phenol-formaldehyde resins prepared using technical sodium lignosulfonates were researched. At the first stage, highly alkaline resins were synthesized by replacing up to 40% of phenol with lignosulfonates; at the second stage, medium alkaline resins were synthesized with 30% phenol substituted by lignosulfonates, varying the duration of the polycondensation stage from 15 to 35 min. Based on the results of <sup>13</sup>C NMR spectroscopy method it was suggested that highly alkaline resins contain predominantly phenol-formaldehyde oligomers of low molecular weight; the interaction of formaldehyde with lignosulfonates occurs mainly at the first stage of synthesis (at 55–60 °C). Highly alkaline lignin-phenol-formaldehyde resins with 20% phenol replaced by lignosulfonates provide the highest physical and mechanical properties among all highly alkaline resins. However, boards manufactured using highly alkaline lignin-phenol-formaldehyde are significantly

inferior to boards manufactured using industrial phenol-formaldehyde resin SFZh-3014. Reducing the alkali content and increasing the duration of resin holding at 96–98 °C (second stage) allows to significantly increase the molecular weight of phenol-formaldehyde oligomers and improve the properties of lignin-phenol-formaldehyde resins-based particleboard. Phenol-formaldehyde oligomers of medium alkaline resins have a relatively high molecular weight. Particleboards based on medium alkaline resins synthesized with a second stage duration of 25 min meet all the requirements of the state standard. However, boards based on medium alkaline lignin-phenol-formaldehyde resins are still inferior to boards based on SFZh-3014.

**Key words:** lignosulfonates, lignin-phenol-formaldehyde resin, phenol-formaldehyde resin, polycondensation, particleboard.

---

**ГЛАЗУНОВА Маргарита Геннадьевна** – аспирант кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. ORCID: 0000-0003-0778-6205. SPIN-код: 9753-1150.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: rita.mg.1212@yandex.ru

**GLAZUNOVA Margarita G.** – PhD student of the Department of Technology of Wood and Cellulose Composite Materials at St.Petersburg State Forestry University.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: rita.mg.1212@yandex.ru

**ИВАНОВ Даниил Валерьевич** – доцент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-0001-2461. SPIN-код: 7886-4755. ResearcherID: ABF-7853-2020. SCOPUS AuthorID: 57211013094.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ivanov.d.v.SPB@yandex.ru

**IVANOV Daniil V.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Wood and Cellulose Composite Materials Technology at St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0002-0001-2461. SPIN-code: 7886-4755. ResearcherID: ABF-7853-2020. SCOPUS Author ID: 57211013094.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ivanov.d.v.SPB@yandex.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Предисловие .....	5
<b>1. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО</b>	
<i>Богданов А.П., Ильинцев А.С.</i> Особенности спектрального отображения лиственницы в осенний период на материалах съемки Sentinel-2 .....	6
<i>Ерицов А.М., Безденежных И.В., Залесов С.В.</i> Необходимость координации усилий по совершенствованию охраны лесов от пожаров .....	22
<i>Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А.</i> Состав фитоценозов с тисом ягодным в верховьях реки «Белая речка» (РСО – Алания) .....	34
<i>Терехов Г.Г., Андреева Е.М., Стеценко С.К., Теринов Н.Н.</i> Рост сибирской и европейской елей в культурах после прочистки в разных типах леса на Среднем Урале .....	49
<i>Колобов Р.Ю., Дицевич Я.Б., Григорьева О.И.</i> Леса как объекты охраны системы всемирного наследия (на примере центральной экологической зоны Байкальской природной территории) .....	64
<i>Мартынова Н.В.</i> Эффективность укрытий с применением светотрансформирующего органического фотолуминофора при клонировании черенков древесных видов .....	79
<i>Бялт В.В., Егоров А.А., Волчанская А.В., Логинова А.А., Фирсов Г.А.</i> Рододендрон сикангский ( <i>Rhododendron sikangense</i> Fang) – новый вид рододендрона для Санкт-Петербурга .....	100
<i>Лукашик Е.Е., Лукашик Е.А., Алексеев А.С.</i> Типологическая оценка охотничьих угодий ключевой орнитологической территории «Озеро Ильмень и окрестности» с применением данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий .....	115
<i>Демаков Ю.П., Шейкина О.В., Шарапов Е.С.</i> Оценка влияния изреживания загущенных сосновых насаждений на разнообразие характера роста деревьев .....	135
<i>Байрамова В.Ф., Исаев С.С.</i> Анализ состояния насаждений усадьбы Стрешневых (Знаменское-Раёк) .....	155
<i>Балашкевич Ю.А., Балухта Л.П.</i> К вопросу распространения основных видов болезней в лесах Центрального федерального округа .....	168
<b>2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК</b>	
<i>Соколов А.П., Шаин В.А., Тукусер Д.И.</i> Имитационная модель для анализа транспортных потоков на перевозках древесины .....	178

<i>Ласточкин Д.М., Сидыганов Ю.Н., Кретинин В.И., Костромин Д.В.</i> Экспериментальные исследования работы захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации .....	191
<i>Шадрин Р.А.</i> Исследование нормативно-методических и других основ оставления растущих деревьев на лесосеках сплошных рубок .....	201
<i>Говядин И.К., Чубинский А.Н.</i> К вопросу о точности распознавания кривизны и высоты деревьев .....	213
<b>3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ</b>	
<i>Мелехов В.И., Соловьев И.И., Пономарева Н.Г., Сазанова Е.В.</i> Создание полей нормированных остаточных напряжений в полотне рамной пилы тепловым воздействием .....	233
<i>Богомоллов А.А., Сухов А.С., Иготти М.М., Молодых Е.И., Андронов А.В., Тарадин Г.С., Коваленко Т.В., Хитров Е.Г.</i> Модель компьютерного зрения для распознавания коры на снимке поперечного распила дерева .....	244
<b>4. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ</b>	
<i>Скаковский Е.Д., Тычинская Л.Ю., Попов Е.Г., Гапанькова Е.И., Молчанова О.А., Богусевич С.Е., Караневский Р.И., Торчик В.И.</i> ЯМР-анализ состава живицы кедровых сосен .....	260
<i>Курзин А.В., Пискунов К.А., Таразанов А.А., Евдокимов А.Н., Корочинский А.Ю.</i> Полиамидоамин-эпихлоргидриновые смолы на основе диспропорционированной талловой канифоли .....	282
<i>Байдаков Д.Л., Ковалева О.П., Шелоунов А.В., Фельгендлер А.В.</i> Халькогенидные тонкопленочные потенциометрические сенсоры для определения содержания таллия и ртути в природных и сточных водах .....	293
<i>Вураско А.В., Пепелин М.А., Пермяков А.Н., Атаева Ю.Г., Самородов С.А., Агеев М.А., Шерстобитов А.Л., Сиваков В.П., Губанов И.А.</i> Применение варочно-диспергирующих добавок при сульфатной делигни- фикации композиции лиственных пород древесины .....	304
<i>Галиева А.Р., Крякунова Е.В., Мингазова Л.А., Канарская З.А., Канарский А.В., Кузнецов А.Г.</i> Получение кормового продукта на основе арабиногалактана и биомассы дрожжеподобных грибов .....	321
<i>Глазунова М.Г., Иванов Д.В.</i> Влияние содержания щёлочи и продол- жительности синтеза на свойства лигнофенолоформальдегидных смол, синтезированных с использованием технических лигносульфонатов .....	341

## CONTENTS

---

Preface .....	5
<b>1. FORESTRY</b>	
<i>Bogdanov A.P., Ilyintsev A.S.</i> Features of the spectral display of larch in the autumn period on the materials of the Sentinel-2 survey .....	6
<i>Eritsov A.M., Bezdenezhnykh I.V., Zalesov S.V.</i> The need to coordinate efforts to improve forest protection from fires .....	22
<i>Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov H.M., Nikolaev I.A.</i> Composition of phytocoenoses with Yew berry in the upper reaches of river «White river» (RNO – Alania) .....	34
<i>Terekhov G.G., Andreeva E.M., Stetsenko S.K., Terinov N.N.</i> Siberian and European spruce growth in forest cultures after thinning in different forest types in the Middle Urals .....	49
<i>Kolobov R.Yu., Ditsevich Ya.B., Grigorieva O.I.</i> Forests as objects of protection of the World Heritage System (on the example of the central ecological zone of the Baikal natural territory) .....	64
<i>Martynova N.V.</i> Effectiveness of shelters using light-transforming organic photoluminophore in cloning cuttings of woody species .....	79
<i>Byalt V.V., Egorov A.A., Volchanskaya A.V., Loginova A.A., Firsov G.A.</i> Sikang's rhododendron ( <i>Rhododendron sikangense</i> Fang) – new species of rhododendron for Saint-Petersburg .....	100
<i>Lukashik E.E., Lukashik E.A., Alekseev A.S.</i> Typology assessment of hunting grounds of key ornithological territory «Lake Il'men and adjoining marshy plain» using remote sensing data and GIS-technologies .....	115
<i>Demakov Yu.P., Sheikina O.V., Sharapov E.S.</i> Assessing the impact of thinning of dense pine stands on tree growth pattern diversity .....	135
<i>Bayramova V.F., Isaev S.S.</i> Analysis of the condition of plantings of the Streshnev estate (Znamenskoye-Rayok) .....	155
<i>Balashkevich Yu.A., Balukhta L.P.</i> On the issue of the distribution of the main types of diseases in the forests of the Central federal district .....	168
<b>2. TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF LOGGING INDUSTRIES</b>	
<i>Sokolov A.P., Shain V.A., Tukuser D.I.</i> Simulation model for wood procurement analysis .....	178

<i>Lastochkin D.M., Sidyanov Yu.N., Kretinin V.I., Kostromin D.V.</i> Experimental studies of the operation of a gripping and cutting device with a vibration mechanism .....	191
<i>Shadrin R.A.</i> A study of the normative, methodical and other principles of abandoning growing trees in continuous cutting areas .....	201
<i>Govyadin I.K., Chubinsky A.N.</i> On the issue of accuracy of tree curvature and height recognition .....	213
<b>3. WOOD SCIENCE. MECHANICAL WOODWORKING INDUSTRY</b>	
<i>Melekhov V.I., Soloviev I.I., Ponomareva N.G., Sazanova E.V.</i> Creation of fields of normalized residual stresses in the blade of a frame saw by thermal influence .....	233
<i>Bogomolov A.A., Sukhov A.S., Igotti M.M., Molodykh E.I., Andronov A.V., Taradin G.S., Kovalenko T.V., Khitrov E.G.</i> Computer vision model for recognizing bark in a digital image of a tree cross-cut .....	244
<b>4. CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD. BIO TECHNOLOGY</b>	
<i>Skakovskii E.D., Tychinskaya Yu., Popoff E.H., Hapankova A.I., Molchanova O.A., Bogushevich S.E., Karaneuski R.I., Torchik V.I.</i> NMR analysis of the cedar pines' oleoresin composition .....	260
<i>Kurzin A.V., Piskounov K.A., Tarazanov A.A., Evdokimov A.N., Korochinskiy A.Yu.</i> Polyamidoamine-epichlorohydrin resins based on disproportionated tall oil rosin .....	282
<i>Baidakov D.L., Kovaleva O.P., Sheloumov A.V., Felgendler A.V.</i> The chalcogenide chemical sensors on based thin films for determination of $Tl^{+}$ and $Hg^{2+}$ cations in fabricated and nature waters .....	293
<i>Vurasko A.V., Pepelin M.A., Permiakov A.N., Ataeva Ju.G., Samorodov S.A., Ageev M.A., Sherstobitov A.L., Sivakov V.P., Gubanov I.A.</i> The use of cooking and dispersing additives in the sulfate delignification of the composition of hardwood .....	304
<i>Galieva A.R., Kryakunova E.V., Mingazova L.A., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V., Kuznetsov A.G.</i> Obtaining of a feed product based on arabinogalactan and biomass of yeast-like fungi .....	321
<i>Glazunova M.G., Ivanov D.V.</i> Effect of alkali content and synthesis duration on the properties of lignin-phenol-formaldehyde resins prepared with technical lignosulfonates .....	341

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ  
АКАДЕМИИ

Выпуск 253

*Издаются с 1886 года*

*Редактор В.Н. Добронравина*

*Компьютерная верстка Е.А. Корнуковой*

---

Подписано в печать с оригинал-макета 11.04.2025. Выход в свет 18.06.2025. Формат 150\*210.  
Печать цифровая. Уч.-изд. л. 22,75. Печ. л. 22,75. Тираж 500 экз. Заказ № 102 С 214. Свободная цена

---

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С.М. Кирова

Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ  
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, литер У