

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 257

*Издаются с 1886 года*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2026

## 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

**А.В. Андронов**, д-р техн. наук, доц., СПбГЛТУ,

**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,

**С.А. Корчагов**, д-р с.-х. наук, проф., СевНИИЛХ,

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

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

**Р.В. Щекалева**, 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. 257. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2026. – 500 с. – ISBN 978-5-9239-1558-7, 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 2026 г. Изд. № 234

ISBN 978-5-9239-1558-7

ISSN-р: 2079-4304, ISSN-е: 2658-5871

© Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова (СПбГЛТУ), 2026

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 257

*Published since 1886*

SAINT PETERSBURG  
2026

## 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

**A.V. Andronov**, 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. Ugrymov**, 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,

**S.A. Korchagov**, DSc (Agriculture), Northern Research Institute of Forestry,

**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:* [izvestiya.spbftu.ru](http://izvestiya.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. 257. Saint-Petersburg.: SPbFTU, 2026. – 500 p. – ISBN 978-5-9239-1558-7, 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 2026 r. Izd. N 234

ISBN 978-5-9239-1558-7

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

© Saint Petersburg State Forest Technical University (SPbFTU), 2026

## 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\*114.351

**С.В. Тихонов, В.В. Горшков, Е.А. Капица, Ю.В. Хомяков,  
В.Е. Вертебный, Е.В. Шорохова**

## **ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНОГО ОПАДА И СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В НЕМ В ЕЛЬНИКАХ ПРИРОДНОГО ПАРКА «ВЕПСКИЙ ЛЕС»**

*Введение.* Опад является одним из ведущих факторов, определяющих структуру почвы в лесных экосистемах. Количество и фракционный состав опада определяют мощность лесной подстилки, водный, воздушный и тепловой режимы почвы, аккумуляцию органического углерода, физико-химические, химические и биологические свойства почвы [Hui et al., 2017]. Масса и структурное разнообразие опада влияют на состав и обилие зоомикробного сообщества деструкторов и комплекса почвенных беспозвоночных. Последние, за счет своей деятельности, формируют в почве порозные пространства, снижающие ее плотность, тем самым предотвращая ее деградацию при уплотнении [Аничкин, 2018].

Интенсивность поступления и структурное разнообразие опада, а, следовательно, и пул углерода лесной подстилки определяются климатическими факторами, лесорастительными условиями и структурой древостоя [Иванова, 2021; Managing..., 2012]. На уровне фитоценоза количество опада и его состав зависят от состава, строения и возраста древостоя, а также условий местопроизрастания. В таежных лесах количество опада варьирует от 0,9 до 3,9 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> [Казимиров и др., 1977; Редько, 1984; Никонов, 1986]. На зимне-весенний период приходится 52–58%, на летний – 20–23, на осенний – 22–25% от общей массы опада, поступившего на поверхность подстилки (в ельниках средней подзоны тайги) [Лиханова, 2014]. Несмотря на значительное количество исследований, мало изучены факторы, влияющие на пространственную вариабельность поступления опада на поверхность почвы, а также его объем и состав [Казимиров и др., 1977; Редько, 1984; Никонов, 1986; Лиханова, 2014; Иванов и др., 2018;

Лукина и др., 2018; Иванова, Исаева, 2019; Иванова, 2021; Кузнецова, 2021; Бобкова, Кузнецов, 2022].

Целью данной работы является оценка фракционного состава опада и содержания углерода в нем в чернично-сфагновых и черничных коренных и производных (вторичных) ельниках резервата «Вепский лес» Ленинградской области. В задачи входила сравнительная оценка: 1) годовичного поступления массы различных фракций древесного опада и связанного с ним углерода; 2) влияния лесорастительных условий, стадии сукцессионного развития и запаса древостоя на массу и содержание углерода и структуру древесного опада.

*Объекты и методы.* Исследования проведены в резервате «Вепский лес» одноименного природного парка, расположенного в восточной части Ленинградской области, на границе с Вологодской областью (Курбинское участковое лесничество Подпорожского лесничества) (рис. 1). На территории резервата преобладают дренированные и недостаточно дренированные моренные суглинки на двучленных наносах, заболоченные торфяные и болотно-торфяные почвы [Федорчук и др., 1998; Беляева, 2019]. Лесной массив находится на возвышенности: высота над уровнем моря составляет 220–260 м. Среднегодовая температура за период наблюдений с 1990 г. по настоящее время составляет +4,0 °С (по данным метеостанции в п. Ефимовский Ленинградской области) (рис. 2). Следует отметить статистически достоверное увеличение температуры в заданном районе за последние 30 лет на 1,4 °С (рис. 2). Самый холодный месяц года – январь (–8,2 °С), самый теплый – июль (+17,5 °С). Количество осадков за период 75-летних наблюдений на метеостанции в п. Ефимовское остается величиной относительно постоянной. Наибольшее количество осадков приходится на август, наименьшее на февраль (рис. 3). Толщина снежного покрова в среднем равна 60 см, длительность его сохранения приблизительно 110–120 дней [Научно-прикладной..., 1988]. Лесной массив представлен, главным образом, ельниками, возраст которых составляет 200–300 лет, в отдельных случаях 350–400 лет [Федорчук и др., 1998].

Для исследования динамических процессов в коренных и производных лесах в 1973–93 гг. сотрудниками Ленинградского НИИ лесного хозяйства под руководством и при непосредственном участии С.А. Дыренкова и В.Н. Федорчука в резервате «Вепский лес» была заложена обширная серия пробных площадей (далее – ПП) на территории

лесов с давностью последнего пожара 200 и более лет и на вырубках 1973-74 гг. [Федорчук и др., 1998] (табл. 1). ПП, расположенные в древостоях коренных лесов, идентичны по лесорастительным условиям парным древостоям в нарушенных сообществах (до сплошной рубки, по материалам лесоустройства 1973 г.). В понимании авторов коренные леса – это варианты естественных состояний лесного покрова без антропогенного нарушения.

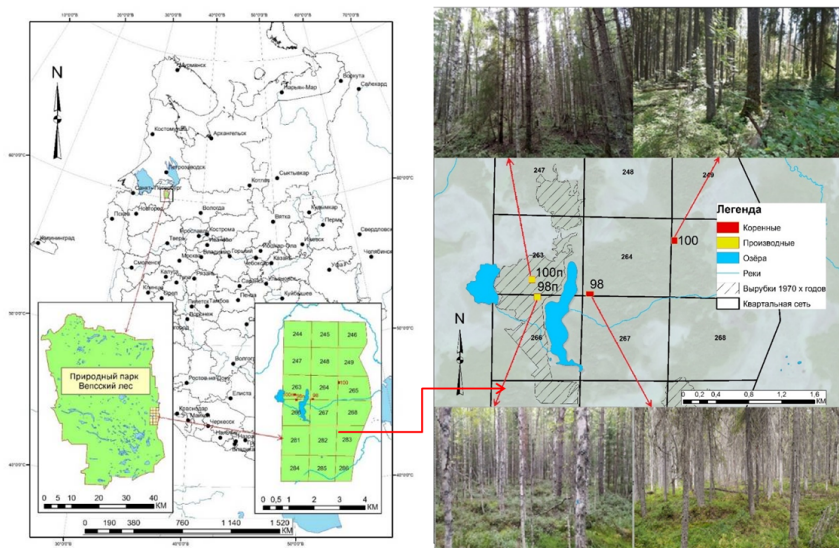


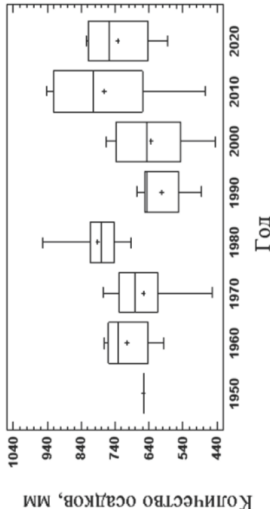
Рис. 1. Расположение пробных площадей

Fig. 1. Location of sample plots

ПП закладывали, руководствуясь отраслевым стандартом «Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки». Размер ПП определяли по наличию на ней не менее 200-250 деревьев основного элемента леса (с диаметром более 6 см) [Дыренков, 1984; Федорчук и др., 1998]. Характеристики древостоя оценивали методом сплошного пересчета. Для всех деревьев учетного размера (более 6 см на высоте 1,3 м) определяли породу и длину окружности (с последующим переводом в диаметр). Запас древесины определяли по объемным таблицам (по ступеням толщины и разрядам высот) [Третьяков и др., 1952]. Состав древостоя представлен в долях от запаса (табл. 1).

Method: 99,0 percent LSD

Период	Число лет измерений	Среднее за период годовое количество осадков	Гомогенные группы
1960–1960	1	655,0	x x x x
1961–1970	9	705,8	x x x x
1971–1980	10	657,0	x x x
1991–2000	5	602,0	x x
2001–2010	8	634,4	x x
2011–2020	10	773,7	x
2021–2024	4	731,5	x x x



Месяц	Число лет измерений	Среднемесячное количество осадков, мм	Гомогенные группы
Февраль (p2)	56	31,98	x
Март (p3)	58	41,16	x x
Апрель (p4)	59	42,59	x x
Январь (p1)	55	43,53	x x
Май (p5)	59	49,41	x x
Декабрь (p12)	55	55,04	x x x
Ноябрь (p11)	55	60,87	x x x
Июнь (p6)	57	66,98	x x
Сентябрь (p9)	55	68,98	x x x
Октябрь (p10)	56	73,34	x x
Июль (p7)	56	81,88	x x
Август (p8)	56	87,64	x

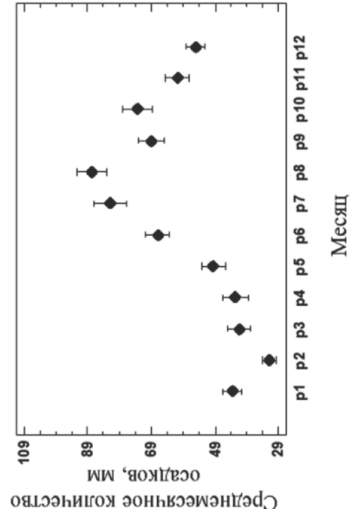


Рис. 3. Результаты статистического анализа данных по количеству осадков в регионе исследования по данным метеостанции в п. Ефимовский за период с 1960 по 2024 гг.

Fig. 3. Results of statistical analysis of precipitation data in the study region according to the data of the weather station in Efimovskiy settlement for the period from 1960 to 2024

Таблица 1

## Характеристика постоянных пробных площадей

## Characteristic of permanent sample plots

ПП	Год закладки	Площадь ПП, га	Серия типов леса**	Вариант возрастной структуры древостоя*	Состав древостоя (2019 год учета)	Таксационный возраст основного поколения ели	Сумма площадей сечения (2019 год учета), м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Запас (2019 год учета), м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>
100	1973	0,78	ЧЕРГ	Уо	4Е3Ос2С1Б	200–300**	35,2	460,2
100П	1979	0,87	ЧЕРГ	Уо	4Б3Е3Ос+С	50	41,7	354,6
98	1973	0,46	СФЧ	Ар	9Е1Б+С	200–300**	29,0	235,6
98П	1979	0,39	СФЧ	Уо	5Б3С2Е	50	33,5	248,2

Примечание: серии типов леса: ЧЕРГ – черничная на дренированных суглинках и двучленных наносах; СФЧ – чернично-сфагновая на слабодренированных лесных землях или переходных торфах. П – пробные площади на вырубках 1971–1975 гг. Е – ель (*Picea abies* (L.) Н. Karst), Б – береза (*Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh.), Ос – осина (*Populus tremula* L.), С – сосна (*Pinus sylvestris* L.). \*Вариант возрастной структуры древостоя: Ар – абсолютно разновозрастные древостои; Уо – условно одновозрастные древостои [Дыренков, 1984]. \*\*Согласно данным Федорчука и др. [1998].

Изучение опада проводили согласно методическим рекомендациям ICP Forests [Pitman et al., 2010]. Для оценки массы и фракционного состава опада в 2022 г. на каждой из четырех ПП было установлено по 12 опадодуловителей равноудаленно друг от друга (10–25 м). Опадодуловители представляли собой водонепроницаемые мешки из геоткани на проволочной раме. Площадь улавливания каждого опадодуловителя составляла 0,3 м<sup>2</sup>. Для предотвращения выдувания опада ветром глубина мешков составляла 0,4–0,5 м. Для вентиляции (проветривания) и исключения нахождения опада в переувлажненном состоянии соблюдали расстояние между дном мешка и поверхностью почвы в 0,5–0,7 м.

В лаборатории для каждой древесной породы опад разбирали на отдельные фракции: хвою, листья, генеративные органы (семена, пыльники, шишки, сережки), элементы кроны (ветви, кора, фрагменты древесины, чешуйки почек), а также лишайники и неопределенный остаток. Опад каждой фракции высушивали до воздушно-сухого

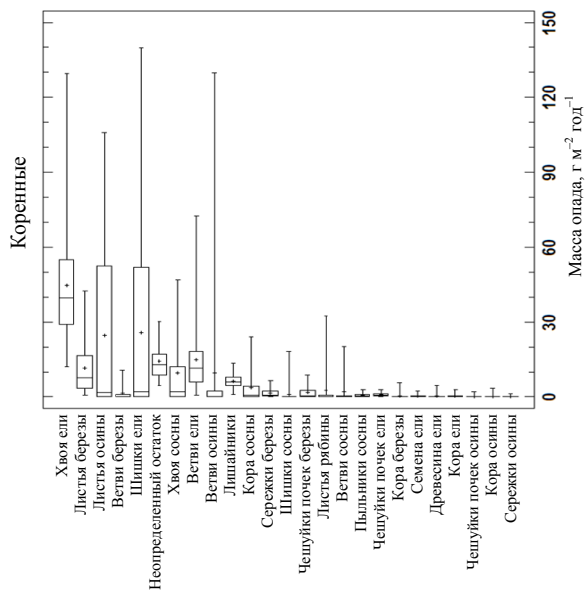
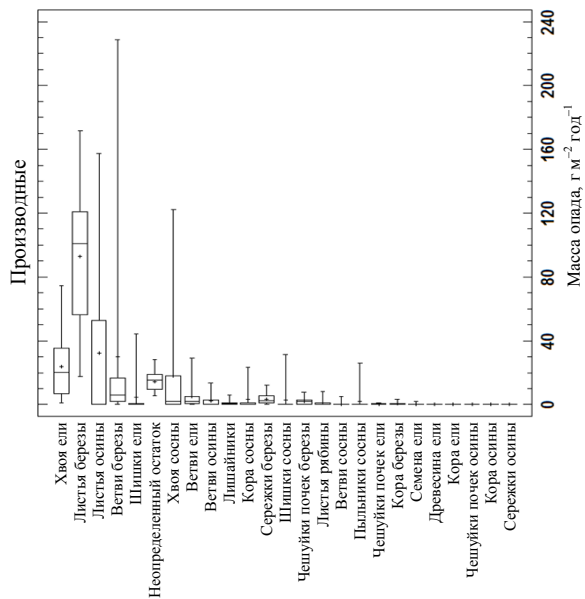
состояния и взвешивали с точностью до 0,01 г. Воздушно-сухие образцы фракций опада измельчали и определяли в них содержание углерода методом сухого сжигания на ТОС-анализаторе фирмы SHIMADZU. В оставшейся части образца определяли гигроскопическую влажность. Содержание углерода в опаде пересчитывали на абсолютно сухое вещество.

При статистической обработке использовали множественный дисперсионный анализ (Least Significant Difference (LSD)), регрессионный анализ и сравнение выборок непараметрическими методами (критерий Краскела-Уоллиса). Различия рассматривали как достоверные при уровне значимости  $\alpha < 0,01$ .

*Результаты исследования.* Общее поступление опада в изученных коренных лесных сообществах в среднем составило  $180 \text{ г м}^{-2}$  (145 и  $215 \text{ г м}^{-2}$  на ПП 98 и ПП 100 соответственно) и  $241 \text{ г м}^{-2}$  – во вторичных ( $218$  и  $264 \text{ г м}^{-2}$  на ПП 98П и ПП 100П соответственно). Наблюдаемое различие обусловлено разницей в суммах площадей сечений, последовательно возрастающих при повышении плодородия почвы от ПП 98 ( $29 \text{ м}^2 \text{ га}^{-1}$ ) – чернично-сфагновый тип леса – к ПП 100П ( $42 \text{ м}^2 \text{ га}^{-1}$ ) – черничный тип леса (табл. 1).

Для коренных лесов идентифицированные в лабораторных условиях фракции делятся на 5 различающихся по массе групп (рис. 4): 1) хвоя ели, масса которой составляет  $44,8 \text{ г м}^{-2}$  (25% от общей массы опада); 2) шишки ели и листья осины –  $25,7$  и  $24,6 \text{ г м}^{-2}$  соответственно (суммарно 28%); 3) фракции, масса которых варьирует от 6 до  $15 \text{ г м}^{-2}$ : ветви ели и осины, листья березы, хвоя сосны, неопределенный остаток, лишайники (суммарно 37%). Оставшиеся 2 группы, масса фракций которых составляет  $1,5\text{--}4 \text{ г м}^{-2}$  и  $0,1\text{--}1 \text{ г м}^{-2}$ , характеризуются незначительным вкладом в общую массу опада – 7,6% и 2,5% соответственно.

Во вторичных лесах фракции опада делятся на 4 группы: 1) листья березы –  $93 \text{ г м}^{-2}$  (39%); 2) фракции, масса которых варьирует от 18 до  $32 \text{ г м}^{-2}$  и в сумме составляет  $104 \text{ г м}^{-2}$  (43%): листья осины, ветви березы, хвоя ели и сосны; 3) неопределенный остаток, ветви и шишки ели, сержки березы и ветви и шишки сосны (варьирование массы –  $3,1\text{--}14 \text{ г м}^{-2}$ , в сумме –  $35 \text{ г м}^{-2}$ , вклад – 14%); 4) фракции фрагментов древесины, коры и чешуек почек разных видов, пыльники сосны, семена хвойных (варьирование –  $<0,01\text{--}2,4 \text{ г м}^{-2}$ , суммарная масса –  $10 \text{ г м}^{-2}$ , вклад – 4%) (рис. 4).



Multiple Range Tests. Method: 99.0 percent LSD

Фракция	Кол-во изме- рений	Средняя масса опада в коренных лесах, г м <sup>-2</sup>	% от общей массы	Гомоген- ные группы
Хвоя ели	24	44,75	24,89	X
Шишки ели	24	25,68	14,29	X
Листья осины	24	24,55	13,66	X X
Ветви ели	24	14,93	8,31	X X
Неопределенный остаток	24	14,25	7,93	X
Листья березы	24	11,62	6,46	X X
Ветви осины	24	9,72	5,41	X X X
Хвоя сосны	24	9,70	5,40	X X X
Лишайники	24	6,32	3,51	X X X
Кора сосны	24	3,78	2,10	X X
Листья рябины	24	2,68	1,49	X X
Ветви сосны	24	2,15	1,20	X X
Чешуйки почек березы	24	1,88	1,05	X X
Ветви березы	24	1,60	0,89	X X
Серезжки березы	24	1,57	0,87	X X
Шишки сосны	24	1,04	0,58	X
Чешуйки почек ели	24	0,98	0,55	X
Пыльнички сосны	24	0,68	0,38	X
Древесина ели	24	0,41	0,23	X
Семена ели	24	0,40	0,22	X
Кора березы	24	0,33	0,19	X
Кора ели	24	0,33	0,18	X
Чешуйки почек осины	24	0,18	0,10	X
Кора осины	24	0,15	0,08	X
Серезжки осины	24	0,11	0,06	X

Multiple Range Tests. Method: 99.0 percent LSD

Фракция	Кол-во изме- рений	Средняя масса опада в производных лесах, г м <sup>-2</sup>	% от общей массы	Гомоген- ные группы
Листья березы	24	92,83	38,45	X
Листья осины	24	32,30	13,38	X
Ветви березы	24	29,95	12,41	X
Хвоя ели	24	23,75	9,84	X X
Хвоя сосны	24	18,07	7,48	X X X
Неопределенный остаток	24	14,45	5,98	X X X
Ветви ели	24	5,29	2,19	X X
Шишки ели	24	4,82	2,00	X X
Серезжки березы	24	3,50	1,45	X X
Кора сосны	24	3,48	1,44	X X
Шишки осины	24	3,09	1,28	X X
Ветви осины	24	2,38	0,99	X
Чешуйки почек березы	24	2,13	0,88	X
Пыльнички сосны	24	1,83	0,76	X
Листья рябины	24	1,14	0,47	X
Лишайники	24	1,05	0,43	X
Кора березы	24	0,43	0,18	X
Ветви сосны	24	0,37	0,15	X
Чешуйки почек ели	24	0,37	0,15	X
Семена ели	24	0,20	0,08	X
Чешуйки почек осины	24	0,01	<0,01	X
Кора ели	24	<0,01	<0,01	X
Древесина ели	24	<0,01	<0,01	X
Кора осины	24	<0,01	<0,01	X
Серезжки осины	24	0		X

Рис. 4. Средний фракционный состав древесного опада в коренных (ПП 100 и 98) (слева) и производных (ПП 100П и 98П) (справа) ельниках

Fig. 4. Fractional composition of tree litterfall in the old-growth (PP 100 and 98) (left) and secondary (PP100P and 98P) (right) spruce forests

Во всех изученных лесах основной фракцией опада являются ассимиляционные органы (хвоя или листья), доля которых составляет 52–70% (табл. 2). Лиственный опад преобладает во вторичных лесах ввиду большей доли лиственных пород в составе древесного яруса. Следующей, практически одинаково представленной фракцией как в нарушенных, так и в старовозрастных лесах является фракция, состоящая из фрагментов крон деревьев (коры, древесины, ветвей, чешуек почек древесных пород) – 18–20% от общей массы опада. Доля фрагментов крон хвойных и лиственных деревьев в коренных лесах составляет 13% и 8%, во вторичных – 4% и 14% соответственно. Фракции генеративных органов представлены преимущественно в коренных сообществах и состоят практически полностью из шишек ели, вклад которых в общий опад составляет 15% (рис. 4, табл. 2). Вклад фракции «неопределенный остаток» несколько увеличивается при переходе от вторичных к коренным лесам – с 6 до 8% соответственно. Присутствие «старых» деревьев в древесном ярусе коренных лесов, ветви и стволы которых являются длительно существующим субстратом для заселения и роста лишайников, увеличивает присутствие фракции лишайников в коренных лесах в 7 раз по сравнению со вторичными (табл. 2).

*Таблица 2*

**Среднее фракционное распределение опада (%) в коренных и вторичных еловых лесах**

**Average fractional distribution of tree litterfall (%) in the old-growth and secondary spruce forests**

Группы фракций опада	Коренные леса	Вторичные леса
Листья	21,61	52,30
Хвоя	30,29	17,32
Итого: ассимиляционные органы	51,90	69,62
Кора, древесина, ветви, чешуйки почек лиственных пород	7,71	14,45
Кора, древесина, ветви, чешуйки почек хвойных пород	12,56	3,94
Итого: фрагменты кроны	20,27	18,39
Генеративные органы лиственных пород	0,93	1,45
Генеративные органы хвойных пород	15,46	4,12
Итого: генеративные органы	16,39	5,57
Неопределенный остаток	7,93	5,98
Лишайники	3,51	0,43

Во всех изученных лесах коэффициент вариации фракций опада характеризуется существенным разбросом – от 26% до 346% (табл. 3).

Таблица 3

**Вариабельность поступления опада в опадоуловители по пробным площадям; средние (минимальные; максимальные) значения массы опада, г м<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup>**

**Variability of litterfall among fall traps by sample plots; mean (minimum; maximum) values of annual litterfall mass, g m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>**

Фракция	Кол-во измерений	Постоянная пробная площадь							
		100		100П		98		98П	
		Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)
Хвоя ели	12	43%	39 (12; 69)	85%	25 (1; 75)	64%	51 (19; 130)	102%	23 (1; 68)
Хвоя сосны	12	90%	18 (0,4; 47)	334%	0,1 (0; 1,4)	247%	1 (0; 8)	112%	36 (2; 122)
Листья березы	12	88%	5,8 (1,5; 18,9)	65%	86 (18; 172)	72%	17,5 (0,7; 42,4)	26%	99 (50; 138)
Листья осины	12	57%	49 (3,6; 106)	88%	65 (0; 158)				
Листья рябины	12	182%	5,4 (0; 32)	125%	2,3 (0; 8,1)				
Чешуйки почек ели	12	83%	1,0 (0,1; 3,0)	88%	0,3 (0; 0,9)	86%	0,9 (0,3; 3,0)	73%	0,4 (0,1; 1,0)
Чешуйки почек березы	12	93%	3,6 (0; 8,7)	76%	3,3 (0; 7,8)	116%	0,2 (0; 0,5)	108%	1,0 (0; 3,2)
Чешуйки почек осины	12	173%	0,4 (0; 2,1)	346%	0,02 (0; 0,24)				
Шишки ели	12	161%	21 (0; 99)	179%	9,2 (0; 44,3)	136%	30,4 (0,1; 139,9)	346%	0,5 (0; 5,4)
Шишки сосны	12	262%	2,1 (0; 18)					194%	6,2 (0; 31,3)
Пыльники сосны	12	102%	0,9 (0; 3,0)	236%	0,03 (0; 0,24)	135%	0,5 (0; 2,3)	211%	3,6 (0; 25,8)
Семена ели	12	123%	0,25 (0,03; 1,06)	163%	0,2 (0; 0,9)	111%	0,6 (0,2; 2,4)	251%	0,2 (0; 2,0)
Сережки березы	12	105%	1,1 (0,1; 3,2)	95%	4 (0; 12)	86%	2,1 (0,4; 6,6)	65%	3,0 (0,6; 6,5)
Сережки осины	12	204%	0,2 (0; 1,2)						
Ветви ели	12	63%	11 (0,8; 22)	167%	6 (0; 29)	98%	19 (3; 73)	110%	4,5 (0; 14,8)
Ветви сосны	12	212%	3,5 (0; 20)			246%	0,9 (0; 6,6)	236%	0,7 (0; 5,0)
Кора ели	12	346%	0,25 (0; 3)	346%	0,01 (0; 0,09)	178%	0,4 (0; 2,5)		
Кора сосны	12	104%	7,3 (0,2; 24)			170%	0,3 (0; 1,8)	133%	7,0 (0; 23,4)

Окончание табл. 3

Фракция	Кол-во измерений	Постоянная пробная площадь							
		100		100П		98		98П	
		Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)
Древесина ели	12	168%	0,8 (0; 4,7)	346%	0,01 (0; 0,07)				
Ветви березы	12	262%	1,2 (0; 11)	205%	39 (0; 229)	176%	2 (0; 10)	160%	21,3 (0; 112,3)
Ветви осины	12	207%	19 (0; 130)	104%	4,8 (0; 13,5)				
Кора березы	12	121%	0,2 (0; 0,7)	178%	0,6 (0; 3,3)	339%	0,5 (0; 5,8)	149%	0,3 (0; 1,3)
Кора осины	12	346%	0,3 (0; 3,6)	346%	0,003 (0; 0,04)				
Лишайники	12	37%	5,7 (1,6; 9,0)	132%	1,4 (0; 6,0)	58%	6,9 (1,0; 13,4)	147%	0,7 (0,1; 3,7)
Общий опад	12	32%	215 (70; 315)	31,5%	264 (198; 474)	54%	145 (41; 292)	25,8%	218 (130; 302)

Коэффициенты вариации по их величине можно разделить на 5 групп:

1. <50%. Эта категория коэффициентов вариации, по величине характеризующая нормальное или приближенное к нормальному распределению, отмечена для 3 фракций, в том числе 2 раза для значимых по вкладу в общий опад (табл. 4). Это лишайники (вклад 3%, ПП 100), хвоя ели (18%, там же) и листья березы (45%, ПП 98П). На трех из четырех обследованных ПП (100, 100П, 98П) таким коэффициентом вариации характеризуется распределение общей массы опада по опадоуловителям (табл. 3);

2. 50-99%. Данная категория представлена на всех ПП и отмечена для 20 фракций, в том числе для 9 (из 18) значимых (табл. 4). Эта категория характеризует фракции, представленные по всем опадоуловителям на ПП (с одним исключением). Среди наиболее значимых следует назвать листья осины (вклад 23%, ПП 100), листья березы и осины (33% и 24% соответственно, ПП 100П), хвою ели (35%, ПП 98). Таким коэффициентом вариации характеризуется распределение общей массы опада на ПП 98;

3. 100-199%. Самая распространенная категория, зарегистрирована для 32 фракций (из проанализированных 76), пять из которых значимы для суммарного опада на ПП. Фракции этой категории почти всегда (27 из 32 случаев) представлены не во всех опадоуловителях. К ним относятся: шишки ели (10% на ПП 100 и 21% на ПП 98), ветви березы (15%, ПП 100П), хвоя сосны и ели и ветви березы (17, 11 и 10% соответственно, ПП 98П);

4. 200–300%. Категория представлена 12 раз. Фракции опада с данным коэффициентом вариации встречаются не во всех опадоуловителях. Для

нее отмечены 2 значимые фракции – ветви осины (9%, ПП 100) и ветви березы (15%, ПП 100П). Они зарегистрированы практически во всех опадоуловителях, но при этом в 2 опадоуловителях характеризуются аномально большими значениями – 55 и 69 г м<sup>-2</sup> (ветви осины, ПП 100), 22 и 39 г м<sup>-2</sup> (ветви березы, ПП 100П);

5. >300%. Категория представлена 9 раз и характеризует случаи, когда фракция опада отмечена только в одном из 12 опадоуловителей на ПП. Значимых по вкладу в общий опад фракций в пределах этой группы нет.

Выполненный анализ показывает высокую вариабельность распределения фракций опада в зависимости от ПП. Основная часть значимых фракций опада (11 из 18) характеризуется относительно небольшими величинами коэффициентов вариации (<100%). Большинство фракций опада (53 из 76) характеризуются значительными и очень значительными коэффициентами вариации (>100%). Варьирование характеристик весьма индивидуально на ПП; вторичные и коренные леса не различаются.

Таблица 4

**Число фракций опада в зависимости от категории коэффициента вариации, числа значимых связей и представленности фракций по опадоуловителям на исследованных пробных площадях**

**The number of tree litterfall fractions depending on the variation coefficient category, the number of significant relationships, and the share of tree litterfall fractions in the studied sample plots**

№ категории	Величина коэффициента вариации	Пробная площадь				Всего фракций
		100	100П	98	98П	
1	<50%	2 (1) <sup>1</sup> \0 <sup>2</sup>	–	–	1 (1)\0	3 (2)\0
2	50–99%	6 (3)\1	6 (3)\0	6 (3)\0	2 (–)\0	20 (9)\1
3	100–199%	9 (1)\6	7 (–)\7	7 (1)\5	9 (3)\5	32 (5)\27
4	200–300%	5 (1)\5	2 (1)\2	2 (–)\2	3 (–)\3	12 (2)\12
5	>300%	2 (–)\2	5 (–)\5	1 (–)\1	1 (–)\1	9 (0)\9
	Всего фракций	24(6)\14	20(4)\18	16(4)\8	16(4)\9	76 (18)\49

*Примечание:* <sup>1</sup> В скобках приведено число значимых фракций с вкладом >5% от общей массы опада на пробной площади; <sup>2</sup>Через бэкслэш указано число фракций, отмеченных не на всех опадоуловителях, в пределах ПП

Содержание углерода в различных фракциях опада (табл. 5, рис. 5) достоверно увеличивается от 45% (лишайники) до 54% (чешуйки почек березы). Среди самых значимых фракций (с наибольшим вкладом в массу опа-

да) наименьшее содержание углерода отмечено в листьях осины и рябины (47,21–47,69%), наибольшее – в листьях березы (48,35–49,65%), хвоя ели занимает промежуточное положение (47,78–48,92%). Достоверно большее (по сравнению с лишайниками и листьями осины и рябины) содержание углерода зарегистрировано для фрагментов кроны и генеративных органов березы (в среднем 50,7 и 51,1% соответственно) и хвои сосны (51,4%). Выраженных различий в содержании углерода в разных фракциях опада вторичных и коренных лесов не зарегистрировано.

Таблица 5

**Масса опада и углерода в нем в зависимости от фракции в коренных и производных еловых лесах**

**The mass and carbon content of the tree litterfall by fractions in the old growth and secondary spruce forests**

Фракция		Масса опада, т га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>				Содержание углерода, %				Масса углерода, тС га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>			
		100	100П	98	98П	100	100П	98	98П	100	100П	98	98П
Хвоя	Ель	0,39	0,25	0,51	0,23	48,15	47,78	48,92	48,63	0,19	0,12	0,25	0,11
	Сосна	0,18	<0,01	0,01	0,36	51,21	–	51,59	51,30	0,09	<0,01	0,01	0,18
Листья	Берёза	0,06	0,86	0,17	0,99	48,35	49,65	48,89	49,38	0,03	0,43	0,08	0,49
	Осина	0,49	0,64	–	–	47,52	47,69	–	–	0,23	0,31	–	–
	Рябина	0,05	0,02	–	–	47,21	–	–	–	0,02	–	–	–
Генера- тивные ор- ганы*	Шишки ели	0,21	0,09	0,30	<0,01	49,91	48,90	нд	нд	0,10	0,05	0,15	<0,01
	Семена ели	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	нд	51,59	50,09	50,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Сосна	0,03	<0,01	–	0,10	47,98	49,55	48,54	48,40	0,01	<0,01	–	0,05
	Берёза	0,01	0,04	0,02	0,03	49,26	52,65	50,91	51,60	<0,01	0,02	0,01	0,02
	Осина	<0,01	–	–	–	46,08	–	–	–	<0,01	–	–	–
Чешуйки почек	Ель	0,01	<0,01	0,01	<0,01	49,91	48,90	49,24	50,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Берёза	0,04	0,03	–	0,01	53,78	53,97	54,04	54,26	0,02	0,02	–	0,01
	Осина	<0,01	<0,01	–	–	52,05	–	–	–	<0,01	<0,01	–	–
Ветви, кора, фрагменты древесины	Ель	0,12	0,06	0,20	0,05	50,14	49,57	49,88	50,70	0,06	0,03	0,10	0,03
	Сосна	0,11	–	0,01	0,08	48,84	–	47,63	50,62	0,05	–	<0,01	0,04
	Берёза	0,01	0,39	0,02	0,22	51,35	51,38	51,04	49,08	0,01	0,20	0,01	0,11
	Осина	0,20	0,05	–	–	46,48	47,74	–	–	0,09	0,02	–	–
Лишайники	0,06	0,01	0,07	0,01	44,91	48,83	45,40	41,63	0,03	<0,01	0,03	<0,01	
Неопределенный остаток	0,17	0,18	0,11	0,11	48,61	52,87	48,60	51,32	0,08	0,10	0,05	0,06	
Итого		2,14	2,62	1,44	2,20					1,02	1,30	0,69	1,10

Примечание: \*генеративные органы – семена хвойных, пыльники сосны, шишки сосны и ели, березовые и осиновые сережки; нд – нет данных

Multiple Range Tests. Method: 99,0 percent LSD

Фракция	Количество изм-рений	Среднее содержание углерода, %	% от общей массы опада	Гомогенные группы
Лишайники	4	45.2	1,7	х
Осина и рябина, все фракции	3	47,5	1,4	х х
Хвоя ели	4	48,4	1,6	х х
Генеративные органы сосны	3	48,6	1,6	х х
Фракции сосны	3	49,0	2,3	х х х
Листья березы	4	49,1	2,4	х х х
Фракции березы	2	49,4	7,2	х х х
Шишки ели	4	49,5	0,3	х х х
Почки ели	4	50,1	5,3	х х
Фракции ели	4	50,4	6,8	х х
Неопределенный остаток	4	50,6	0,14	х х
Семена ели	3	50,7	8,6	х х
Фракции березы	4	51,1	1,2	х х
Генеративные органы березы	3	51,4	6,6	х
Хвоя сосны	4	54,0	0,95	х
Почки березы	4			

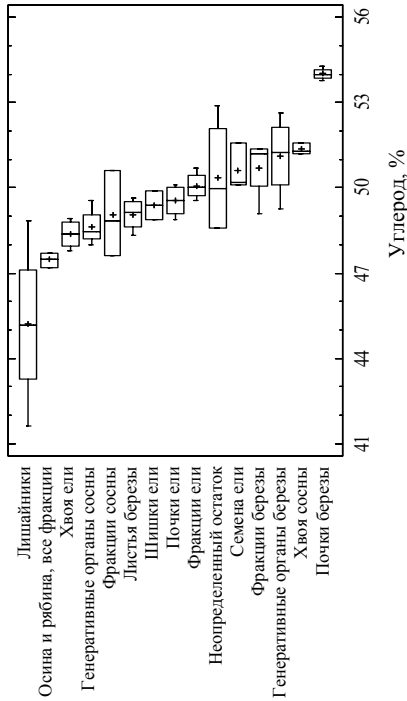


Рис. 5. Среднее содержание углерода в различных фракциях опада  
 Fig. 5. Average carbon content in various fractions of the tree litterfall

Основная часть значимых фракций опада (62% от массы опада) характеризуется содержанием углерода несколько менее 50% (47,5–49,5%). В меньшей части значимых фракций (27% от массы опада) содержание углерода равно или незначительно превышает 50% (50,1–51,4%).

Годовое поступление углерода с различными фракциями опада на поверхность почвы в изученных сообществах составляет в среднем 1,03 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> (табл. 5). Наименьшее поступление отмечено в коренном ельнике ПП 98 (0,69 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>), наибольшее – во вторичном смешанном лесу ПП 100П (1,30 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>). В изученных сообществах большим поступлением опада на поверхность почвы характеризуются вторичные леса, что, как ранее обсуждалось, обусловлено их большей суммой площадей сечений и, как следствие, площадью крон, и поверхностью ассимиляционных органов, отвечающих за продуктивность.

Полученные авторами результаты согласуются с данными других исследователей. Годовое поступление опада в северотаежных лесах находится в пределах от 0,9 до 2,5 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> [Никонов, Лукина, 1994], в среднетаежных лесах – от 2,1 до 3,9 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> [Казимиров и др., 1977; Редько, 1984]. По данным М.А. Кузнецова и К.С. Бобковой [2022], старовозрастной еловый древостой (возраст основного поколения 80-160 и 106-200 лет на ПП разнотравно-черничного и чернично-сфагнового типов леса) продуцирует опад в разнотравно-черничном фитоценозе 2,23 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>, а в чернично-сфагновом – 2,05 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>. Наши результаты показали большую вариабельность в зависимости от типа лесорастительных условий (2,14 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> и 1,44 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> для черничного и чернично-сфагнового типов лесорастительных условий соответственно), что, предположительно обусловлено менее значимой долей лиственных пород в составе древостоя на ПП.

Исследования годового поступления углерода в подстилку с опадом для ельников средней подзоны тайги показали близкие к полученным нами данным. Так, согласно результатам Н.И. Германовой [2009], в перестойном 130-летнем ельнике черничном в заповеднике «Кивач» опад привносит на поверхность почвы 0,820 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>. В нашем исследовании в аналогичных лесорастительных условиях, но при большем участии лиственных пород в составе древостоя (ПП100) поступление составило 1,02 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>. Для вторичных лесов средней подзоны тайги возрастом 40 и 60 лет (лиственно-еловые и еловые сообщества) ежегодный вклад опада в условиях Республики Коми составляет 1,213 и 1,245 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> [Дымов и др., 2012] соответственно, что очень близко к нашим результа-

там (1,100 и 1,300 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> для черничных и чернично-сфагновых типов лесорастительных условий).

*Заключение.* Основная масса годового опада представлена листьями и хвоей (50% в коренных лесах и 70% во вторичных). Фрагменты крон в опаде (по массе) в коренных и вторичных сообществах не различаются между собой (18–20%). Генеративных органов в коренных сообществах (16%) почти в три раза больше по сравнению со вторичными (6%). Практически все фракции опада характеризуются неравномерным распределением по территории лесных сообществ: для 52 из 76 фракций опада коэффициент вариации составил 50–200%.

В большинстве значимых фракций опада (62% от общей массы) содержание углерода составило менее 50% (47,5–49,5%). В меньшей части значимых фракций (27% от общей массы опада) содержание углерода равно или незначительно превышает 50% (50,1–51,4%). Среднее количество углерода, поступающего с опадом на поверхность почвы, составило 1,03 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> и варьировало для отдельных лесных сообществ от 0,69 до 1,30 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>.

*Вклад авторов.* Все авторы внесли равный вклад в написание статьи.

*Сведения о финансировании* исследования. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах», в рамках государственного задания Агрофизического научно-исследовательского института FGEG-2025-0005 и в рамках государственного задания Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН «Растительность Европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, типы местообитаний» № 126020616772-4.

*Благодарности.* Авторы выражают глубокую признательность одному из родоначальников исследований на территории «Вепского леса» Виктору Николаевичу Федорчуку за идейное руководство и вдохновение, Сергею Владимировичу Тетюхину за геоинформационное сопровождение работ, а также всем коллегам, принимавшим участие в полевых работах.

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

### Библиографический список

Аничкин А.Е. Роль растительного опада и почвенной фауны в сохранении структуры тропических почв // Современные проблемы медицины и естественных наук: сб. ст. Всерос. науч. конф. Йошкар-Ола, 2018. Вып. 7. С. 473-477.

*Беляева К.А.* Ландшафтная приуроченность лесных сообществ юго-западной части Вепсовской возвышенности // Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского гос. ун-та и 65-летию Белорусского географического общества. Минск, 2019. С. 340–343.

*Бобкова К.С., Кузнецов М.А.* Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журнал общей биологии. 2022. Т. 83, № 6. С. 434–449. DOI: 10.31857/S0044459622060033.

*Германова Н. И.* Скорость разложения растительного опада в лесных насаждениях заповедника «Кивач» // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск, 2009. С. 68–87.

*Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А.* Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // ИВУЗ. Лесной журнал. 2012. № 3(327). С. 7–18.

*Дыренков С.А.* Структура и динамика таёжных ельников. Л.: Наука, 1984. 174 с.

*Иванов А.В., Браун М., Замолодчиков Д.Г., Лынов Д.В., Панфилова Е.В.* Лесные подстилки как звено цикла углерода хвойно-широколиственных насаждений южного Приморья // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1226–1233. DOI: 10.1134/S0032180X18100052.

*Иванова Е.А.* Формирование и разложение древесного опада в лесных экосистемах в фоновых условиях и при азротехногенном загрязнении // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 3. С. 1–52. DOI: 10.31509/2658-607x-202143-87.

*Иванова Е.А., Исаева Л.Г.* Динамика массы и состава древесного опада в сосняке Лапландского заповедника // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 211–215. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.043.

*Казмиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.

*Кузнецова А.И.* Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, №. 4. С. 41–95. DOI: 10.31509/2658-607x-2021-44-95.

*Лиханова Н.В.* Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. № 3. С. 52–66.

*Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Горнов А.В., Кузнецова А.И., Гераськина А.П., Шанин В.Н.* Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2018. 232 с.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 3: Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 692 с.

Никонов В.В. Запасы и состав подстилок вторичных сосняков на северном пределе произрастания // Почвоведение. 1986. № 6. С. 79–88.

Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: КНЦ РАН, 1994. 315 с.

Редько Г.И. Линдуловская лиственничная роща: учеб. пособие. Л.: ЛТА, 1984. 96 с.

Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М., Л.: Гослесбумиздат, 1952. 853 с.

Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л., Андреева А.А., Моисеев Д.В. Резерват «Вепский лес». Лесоводственные исследования. СПб.: Изд-во СПбНИИЛХ, 1998. 208 с.

Hui D., Deng Q., Tian H., Luo Y. Climate change and carbon sequestration in forest ecosystems // Handbook of climate change mitigation and adaptation. Cham, 2017. P. 555-594. DOI: 10.1007/978-3-319-14409-2\_13.

Managing forest carbon in a changing climate. Springer Dordrecht, 2012. 424 p. DOI: 10.1007/978-94-007-2232-3.

Pitman R., Bastrup-Birk A., Breda N., Rautio P. Sampling and Analysis of Litter-fall. // Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg, 2010. Ch. XIII. 16 p.

## References

Anichkin A.E. The role of plant litter and soil fauna in the structure of tropical soils. *Modern problems of medicine and natural sciences: collection of articles of the All-Russ. sci. conf. Yoshkar-Ola, 2018, iss. 7, pp. 473–477.* (In Russ.)

Belyaeva K.A. Landscape distribution of forest communities of south-west part of Veps Upland. *Modern trends in the development of physical geography: scientific and educational aspects for sustainable development: mat. of the int. sci.-pract. conf. dedic. to the 85<sup>th</sup> anniversary of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University and the 65<sup>th</sup> anniversary of the Belarusian Geographical Society.* Minsk, 2019, pp. 340–343. (In Russ.)

Bobkova K.S., Kuznetsov M.A. Carbon budget in ecosystems of the middle boreal old-growth spruce forests. *Journal of General Biology*, 2022, vol. 83, no. 6, pp. 434–449. DOI: 10.31857/S0044459622060033. (In Russ.)

Думов А.А., Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V., Rakina D.A. Plant litter in the old-growth spruce and deciduous-coniferous forest. *BHEI. Russian Forestry Journal*, 2012, no. 3(327), pp. 7–18. (In Russ.)

*Dyrenkov S.A.* The structure and dynamics of taiga spruce forests. Leningrad: Nauka, 1984. 174 p. (In Russ.)

*Fedorchuk V.N., Kuznetsova M.L., Andreeva A.A., Moiseev D.V.* Vepsian Forest Reserve. Forestry research. St. Petersburg: Publishing House of SPbNIIHL, 1998. 208 p. (In Russ.)

*Germanova N.I.* The tree litter rate of decomposition in Kivach Nature Reserve. *Ecological, geochemical and biological patterns of soil formation in taiga forest ecosystems*. Petrozavodsk, 2009, pp. 68–87. (In Russ.)

*Hui D., Deng Q., Tian H., Luo Y.* Climate change and carbon sequestration in forest ecosystems. *Handbook of climate change mitigation and adaptation*. Cham, 2017, pp. 555–594. DOI: 10.1007/978-3-319-14409-2\_13.

*Ivanov A.V., Braun M., Zamolodchikov D.G., Lynov D.V., Panfilova E.V.* Forest litter as a part of the carbon cycle of coniferous and broadleaf plantations of southern Primorye. *Soil science*, 2018, no. 10, pp. 1226–1233. DOI: 10.1134/S0032180X18100052. (In Russ.)

*Ivanova E.A.* Production and decomposition of tree litter in forest ecosystems under background conditions and during aerotechnogenic pollution. *Questions of forest science*, 2021, vol. 4, no. 3, pp. 1–52. DOI: 10.31509/2658-607x-202143-87. (In Russ.)

*Ivanova E.A., Isaeva L.G.* Dynamics of the mass and composition of tree litter in the pine forest of the Lapland Nature Reserve. *Proceedings of the Fersman scientific session of the GI KSC RAS*, 2019, no. 16, pp. 211–215. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.043. (In Russ.)

*Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zybchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M.* Metabolism and energy in the pine forests of the European North. Leningrad: Nauka, 1977. 301 p. (In Russ.)

*Kuznetsova A.I.* Influence of vegetation on soil carbon pool in forests (review). *Questions of forest science*, 2021, vol. 4, no. 4, pp. 41–95. DOI: 10.31509/2658-607x-2021-44-95. (In Russ.)

*Likhanova N.V.* The role of forest litter in the cutting spruce forests of the middle taiga. *BHEI. Russian Forestry Journal*, 2014, no. 3, pp. 52-66. (In Russ.)

*Lukina N.V., Tikhonova E.V., Shevchenko N.E., Gornov A.V., Kuznetsova A.I., Geraskina A.P., Shanin V.N.* Carbon accumulation in forest soils and the successional status of forests. Moscow: Ass-n of Sci. Publ. KMK, 2018. 232 p. (In Russ.)

Managing forest carbon in a changing climate. Springer Dordrecht, 2012. 424 p. DOI: 10.1007/978-94-007-2232-3.

Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3: Mnogoletnie dannye. Chasti 1–6. Vyp. 3: Karelskaya ASSR, Leningradskaya, Novgorodskaya, Pskovskaya, Kalininskaya i Smolenskaya oblasti. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 692 p. (In Russ.)

*Nikonov V.V.* Stocks and composition of litter of secondary pine forests at the northern limit of growth. *Soil science*, 1986, no. 6, pp. 79–88. (In Russ.)

*Nikonov V.V., Lukina N.V.* Biogeochemical functions of forests at the northern limit of distribution. Apatity: KSC RAS, 1994. 315 p. (In Russ.)

*Pitman R., Bastrup-Birk A., Breda N., Rautio P.* Sampling and Analysis of Litterfall. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Hamburg, 2010, ch. XIII, 16 p.

*Redko G.I.* Lindulovskaya larch plantation: a textbook. Leningrad: LFA, 1984. 96 p. (In Russ.)

*Tretyakov N.V., Gorskij P.V., Samoylovich G.G.* Taxation Handbook. Moscow, Leningrad: Goslesbumizdat, 1952. 853 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 02.09.2025*

---

**Тихонов С.В., Горшков В.В., Капица Е.А., Хомяков Ю.В., Вергелбный В.Е., Шорохова Е.В.** Фракционный состав древесного опада и содержание углерода в нем в ельниках природного парка «Вепсский лес» // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 6–28. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.6-28

Опад древесных растений играет ведущую роль в круговороте углерода лесных экосистем. Целью данной работы являлась оценка фракционного состава опада и углерода в нем в чернично-сфагновых и черничных коренных и производных ельниках резервата «Вепсский лес» в Ленинградской области. Масса годовичного древесного опада в различных лесных сообществах изменялась от 1,44 до 2,62 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>, в среднем – 2,10 т га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>. Основу опада составляют хвоя и листья – 52% в коренных лесах и 70% во вторичных. Коренные леса характеризуются в три раза большим вкладом генеративных органов в общую массу опада (16%) по сравнению с вторичными лесами (6%). По вкладу фракции фрагментов ветвей (18-20%) сообщества разного сукцессионного статуса не различаются. Содержание углерода в основной части значимых фракций опада (62% от массы опада) варьирует от 47,5 до 49,5%. Меньшая – 27% от массы опада – содержит 50,1-51,5% углерода. Содержание углерода в хвое и листьях достоверно увеличивается в ряду «листья осины (47,5%) – хвоя ели (48,3%) – листья березы (49,1%) – хвоя сосны (51,4%)». Количество углерода, поступающего на поверхность почвы с древесным опадом за год, составило в коренных лесах 0,69 и 1,02 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>; во вторичных лесах – 1,10 и 1,30 тС га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>.

Ключевые слова: древесный опад, подстилка, углерод, коренные и производные леса.

**Tikhonov S.V., Gorshkov V.V., Kapitsa E.A., Khomyakov Yu.V., Vertebny V.E., Shorokhova E.V.** Fractional composition of tree litterfall and its carbon content in spruce forests in the Vepssky Forest Nature Reserve. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 6–28 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.6-28

Tree litterfall plays an important role in the carbon cycle of forest ecosystems. The aim of this work was to evaluate the fractional composition of tree litterfall and carbon in blueberry-sphagnum and blueberry old-growth and secondary spruce forests of the Vepssky Forest Reserve situated in the Leningrad region, Russia. The amount of annual tree litterfall in various forest types varied from 1.44 to 2.62 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, averaging 2.10 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Needles and leaves represented the greatest part of tree litterfall – 52% in the old-growth forests and 70% in the secondary forests, respectively. The litterfall in the old-growth forests had three times greater content of generative organs (16%) compared to the secondary forests (6%). The carbon content in the main part of the tree litterfall (62% of the mass of the litter) varied from 47.5 to 49.5%. The smallest part – 27% of the tree litter mass – contained 50.1-51.5% of carbon. The carbon content in needles and leaves increased in the raw “aspen leaves (47.5%) – spruce needles (48.3%) – birch leaves (49.1%) – pine needles (51.4%)”. The amount of carbon entering to the forest floor with tree litter in the old-growth forests was 0.69 and 1.02 tC ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>; in secondary forests – 1.10 and 1.30 tC ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, respectively

**Key words:** tree litterfall, carbon, old-growth and secondary forests.

---

**ТИХОНОВ Сергей Владимирович** – доцент кафедры общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sergtikhonov\_ne2@mail.ru

**TIKHONOV Sergey V.** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Department of General Ecology, Physiology and Anatomy of Plants, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: sergtikhonov\_ne2@mail.ru

**ГОРШКОВ Вадим Викторович** – заведующий лабораторией экологии растительных сообществ Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН, доктор биологических наук. Scopus AuthorID: 7101756663.

194027, ул. профессора Попова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: VGorshkov@binran.ru

**GORSHKOV Vadim V.** – Dsc (Biological), Head of the Laboratory of Ecology of Plant Communities, Komarov Botanical Institute of the RAS. Scopus AuthorID: 7101756663.

194027. Professora Popova str. 2. St. Petersburg. Russia. E-mail: VGorshkov@binran.ru

**КАПИЦА Екатерина Александровна** – заведующая кафедрой общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук. ORCID: 0000-0002-6729-482X. Scopus AuthorID: 24068906200.

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

**КАПИЦА Ekaterina A.** – PhD (Biological), Head of the Department of General Ecology, Physiology and Anatomy of Plants, Saint Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0002-6729-482X. Scopus AuthorID: 24068906200.

194021, Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: kapitsa@list.ru

**ХОМЯКОВ Юрий Викторович** – ведущий научный сотрудник Агрофизического научно-исследовательского института, кандидат биологических наук. ORCID: 00000002-9149-3247. Scopus AuthorID: 57189868909.

195220, Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: himlabafi@yandex.ru

**КНОМЯКОВ Yuriy V.** – PhD (Biological), Senior Researcher at the Agrophysical Research Institute. ORCID: 00000002-9149-3247. Scopus AuthorID: 57189868909.

195220. Grazhdansky av. 14. St. Petersburg. Russia. E-mail: himlabafi@yandex.ru

**ВЕРТЕБНЫЙ Виталий Евгеньевич** – старший научный сотрудник Агрофизического научно-исследовательского института. ORCID: 0000-0002-2936-5949. Scopus AuthorID: 57201392859.

195220, Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: verteb22@mail.ru

**VERTEBNU Vitaliy E.** – Senior Researcher at the Agrophysical Research Institute. ORCID: 0000-0002-2936-5949. Scopus AuthorID: 57201392859.

195220. Grazhdansky av. 14. St. Petersburg. Russia. E-mail: verteb22@mail.ru

**ШОРОХОВА Екатерина Владимировна** – профессор кафедры общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук. ORCID: 0000-0002-8238-927X. WoS Researcher ID: T-6181-2017. Scopus AuthorID: 21234507300.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shorohova@ES13334.spb.edu

**SHOROKHOVA Ekaterina V.** – DSc (Biological), Professor, Department of General Ecology, Physiology and Anatomy of Plants, St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0002-8238-927X. WoS Researcher ID: T-6181-2017. Scopus AuthorID: 21234507300.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: shorohova@ES13334.spb.edu

**А.Б. Шишлянникова, Т.А. Герасимова, Д.А. Данилов, А.С. Демчук,  
В.Ю. Ковальшкин, Г.А. Фирсов, А.Г. Хмарик, Е.Д. Шкуренок,  
А.А. Яковлев, И.В. Змитрович**

**ПОПУЛЯЦИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR*)  
В РАСШИРЕНИИ ПОЙМЫ РЕКИ ЛУГИ  
(ЛУЖСКИЙ РАЙОН ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ):  
ДЕНДРОЛОГИЧЕСКАЯ, ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКАЯ,  
ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

*Введение.* Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) – один из немногочисленных представителей рода *Quercus*, распространенных на севере умеренной зоны Северного полушария, характеризующийся широкой морфогенетической и экологической пластичностью. Он имеет европейский ареал, захватывающий всю Западную Европу (включая Англию) с северной границей, пересекающей Скандинавию с 63° с.ш. на западе до 61° с.ш. на востоке. В районе Санкт-Петербурга на севере и Одессы на юге ареал *Q. robur* заходит на Русскую равнину в виде языка, достигающего на востоке таких городов, как Пермь и Оренбург. На южной границе распространения выделяются эксклавы *Q. robur* в Крыму, предгорьях Кавказа и Малой Азии, а далее уже сплошная южная граница этой породы проходит по северу Балканского, центральной части Апеннинского и северу Пиренейского полуостровов [Богданов, 1974]. Известно, что на северной границе его естественного ареала (не следует смешивать с культивируемым, значительно более широким) дуб черешчатый существует в виде локусов и отдельно стоящих деревьев, причем избегает плакоров, встречаясь исключительно в долинах (а часто – в поймах) рек и предпочитая места слияния последних, междуречья, пространства между временным руслом и озерами-старицами [Добрынин, Комиссарова, 2012].

Морфофизиологические адаптации субсенильных особей дуба черешчатого, успешно миновавших в онтогенезе череду кризов, связанных с колебаниями эдафо-климатических условий, являются хорошим индикатором многолетних климатических трендов, в том числе трендов последнего тридцатилетия на июльское переувлажнение почвогрунтов на северной и июльские засухи на восточной границах распространения этой породы.

Таким образом, комплексная: дендрологическая, почвенно-экологическая, фитопатологическая – характеристика старовозрастных и исторических деревьев дуба черешчатого на северной и восточной границах ареала позволяет прогнозировать состояние этой породы в связи с климатическими трендами и разработать комплекс мер по адаптации агроландшафтов, своеобразным индикатором состояния которых является непрерывный поток поколений дуба черешчатого с успешным выходом части особей в постгенеративную фазу, к климатическим изменениям последних десятилетий, включая разработку мер контроля фитопатогенных грибов и коррекцию мелиоративных мероприятий.

В Ленинградской области один из практически неизученных локусов *Q. robur* находится в расширении поймы р. Луги в районе впадения в нее р. Кемки, близ геостанции «Железо» Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. Пойма на этом пространстве достигает ширины 2 км, выражены прирусловый вал, центральная пойма со старичными озерами и перемычками и притеррасное понижение. По всему профилю можно встретить деревья дуба черешчатого разного возраста и состояния, а также очаги дубового подроста. Почвы района исследования изучены лучше, чем растительность [Сапожников, 2003; Кошелева, Шелухина, 2018], причем показано, что, по крайней мере, прирусловый аллювий в настоящее время аккумулируется на довольно мощном прослое гжи (глиногипса), перекрывающей древние пески и глины [Кошелева, Шелухина, 2018].

Цель настоящей работы – комплексная (дендрологическая, фитопатологическая, почвенно-экологическая) характеристика популяции дуба черешчатого, приуроченной к одному из немногочисленных естественных местобитаний этой породы на северной границе ареала, с акцентом на старовозрастных (позднегенеративных и субсенильных) особях. Для достижения этой цели был решен ряд задач: 1) изучены экоморфологические особенности старовозрастных учетных деревьев дуба черешчатого; 2) выявлен фитопатологический профиль учетных деревьев; 3) выявлен видовой состав фитопатогенных грибов; 4) изучены особенности ассоциированного с каждым модельным объектом эдафотопы, включая морфологию и агрохимические показатели почв. Такая комплексная характеристика направлена на решение важной в теоретическом и практическом отношении проблемы – выявления механизмов и тенденций стабилизации осколков самых северных дубрав на фоне возрастающего антропогенного прессинга и ухудшения оптимального для произрастания этой породы почвенного гидрологического режима.

*Материалы и методика исследования.* Расширение поймы р. Луги в месте впадения в нее р. Кемки находится в среднем течении Луги (на 9,5 км ниже пос. Толмачево) – между геостанцией «Железо» на левом берегу и д. Кемка на правом. Координаты центральной точки обследованной территории – 58.939435 с.ш. и 29.803365 в.д. (рис. 1).



Рис. 1. Маршрут исследования в расширении поймы «Луга/Кемка» с координатами учетных деревьев *Quercus robur*

Fig. 1. Research route in the “Luga/Kemka” floodplain expansion with coordinates of the *Quercus robur* registered trees

Район исследований лежит в южнотаежной подзоне таежной зоны и принадлежит Северодвинско-Верхнеднепровской подпровинции Северо-европейской таежной геоботанической провинции [Александрова, Юрковская, 1989]. Долина Луги широкая и глубокая, в ней выделяется до трех надпойменных террас, причем образование террасовых уровней отчасти связано с постепенной деградацией приледникового бассейна. По крутым

берегам реки распространены сложные ельники (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) с подлеском из лещины (*Corylus avellana* L.) с участием липы (*Tilia cordata* Mill.), клена (*Acer platanoides* L.), ясеня (*Fraxinus excelsior* L.) и дуба (*Quercus robur*). Первоначальное освоение территории нынешней геостанции (лесное хозяйство, дачи) началось в конце XIX – начале XX вв. Вырубались леса в пойме, формировались современные пойменные луга. Проводились обширные мелиоративные работы (лесомелиорация) [Александрова, Юрковская, 1989; Сапожников, 2003; Сушков, 2010; Кошелева, Шелухина, 2018].

Полевые исследования проводили 13 августа 2025 г. При оценке состояния древостоя и отдельных деревьев дуба применяли визуальный подход, основанный на глазомерной оценке морфологических признаков и выделении категорий (баллов) состояния [Мозолевская и др., 1984; Кузьмичев и др., 2004]. Нами была принята специализированная шкала категорий состояния дуба [Звягинцев и др., 2019] с дополнениями [Фурменкова, Кочергина, 2021]. Диаметр дерева измеряли рулеткой Richter на высоте 1,3 м. Высоту дерева измеряли лазерным дальномером Nikon Forestry Pro. Возраст дерева определяли при помощи приростного (возрастного) трехрезьбового бурава Haglof 500 мм/20” (диам. керн 4,3/0,169”). Наличие скрытой гнили в древесине ствола выявляли при помощи прибора Resistograf® R650-EA (диапазон глубины бурения – 0–500 мм). На полевых работах использовали бинокль Veber Silver Line БН 10 × 50 WP, фотокамеру Nikon D3200 (сменные объективы AF-S Nikkor 55–300 мм и 18–15 мм). При исследовании кроны измеряли размеры ее проекции с помощью рулетки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, также отбирали побеги, несущие признаки усыхания и ослабления, с использованием высотореза (сучкореза) для деревьев Fiskars UP84 на удлинительной штанге. В проекции кроны каждого из четырех обследованных деревьев дуба проводили учет подроста дуба (возраст 1–3 года).

Патогенные ксилотрофные грибы выявляли по ранее опубликованным методикам [Шишляникова и др., 2023]. Виды сосудистых растений принимали согласно Н.Н. Цвелеву [2000].

Для определения биологического возраста учетных деревьев *Q. robur* взяты образцы годичных слоев прироста древесины на высоте 1,3 м в виде буровых кернов [Двадцать..., 1875; Шиятов и др., 2000; Румянцев, 2010]. Бурение производилось перпендикулярно оси ствола, с минимальным отклонением от сердцевины. Для контроля выпадающих и ложных годичных колец керны взяты по четырем радиусам, ориентированным по сторонам

света [Румянцев, Черакшев, 2020]. У учетного дерева *Q. robur* № 2 в связи с его некоторым наклоном образец взят перпендикулярно плоскости наклона. В случае выявления на образце участка, содержащего гниль в древесине, керны брались повторно. Каждому образцу древесины присваивался буквенно-числовой код. В условиях лаборатории образцы наклеивались на деревянную основу (рис. 2), далее с их поверхности скальпелем срезался слой толщиной 1 мм. Перед проведением датировки и маркировки колец, для повышения контрастности границ между годичными кольцами, зачищенная поверхность керна дополнительно смачивалась водой [Румянцев, 2010]. Глазомерный подсчет годичных колец проводился с использованием бинокулярного микроскопа МБС-10. При определении возраста учетного дерева, имеющего в стволе обширную ядровую гниль, использовали методику Д.Е. Румянцева и А.В. Черакшева [2020].



Рис. 2. Фиксированный образец керна (учетный образец № 1)  
Fig. 2. Fixed core sample (registered sample N 1)

Для выявления скрытых патологий стволов осуществлялась диагностика учетных деревьев *Q. robur* с использованием прибора Resistograph® (Резистограф), принцип действия которого основан на измерении сопротивления древесины бурению сверлом из эластичной стали диаметром 1,5 мм с одновременной регистрацией величины сопротивления древесины (измеряется в единицах Resi) датчиками прибора [Пальчиков, Анциферов, 2016; Авраменко, 2021]. Участки пораженной гнилью древесины имеют меньшую плотность по сравнению с древесиной, не затронутой гнилевыми процессами; изменение плотности визуально отображается в процессе сверления на графике – резистограмме, полученной в режиме реального времени через термопринтер, с помощью которого можно сделать предва-

рительные выводы (например, уточнить локализацию гнили). Для окончательных выводов о степени развития гнили результаты всех проведенных измерений из памяти прибора обрабатываются с использованием программного обеспечения DECOM [Rinn, 2015, 2016].

Сверление стволов прибором Resistograf® R650-ЕА проводили на высоте 1,3 м с северной и южной сторон, а также, в случае обнаружения развитой гнили, дополнительно в комлевой части.

Было заложено четыре почвенных разреза. В лабораторных условиях определяли агрохимические показатели почвы, анализы проводили по общепринятым методикам [Спирина, Соловьева, 2014; Недбаев, Малышева, 2019]. Прикопки описывали согласно пособию по классификации и диагностике почв СССР [Егоров и др., 1977]; также отбирали почвенные образцы для последующего лабораторного исследования. Определение содержания основных элементов минерального питания растений ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), гумуса, гидрокарбонатов, сульфатов и кальция производили по общепринятым в агрохимии методикам для почв таежной зоны [Александрова, Найденова, 1967; Субота и др., 2018].

*Результаты исследования и обсуждение.* Во время рекогносцировочного обследования дубового локуса было выявлено 31 дерево дуба черешчатого, все они находятся в зоне воздействия весеннего половодья. Проведено детальное обследование четырех деревьев *Q. robur* субсенильного возраста (84–134 лет) в порядке их удаления от русла р. Луги (рис. 3, табл. 1): дерево № 1 находилось на аллювиальном всхолмлении прируслового вала, дерево № 2 – на выположенной перемычке выклинивающейся в этом месте центральной поймы, деревья №№ 3, 4 – в притеррасном понижении со стороны коренного берега. Деревья представлены различными экотипами (№№ 1, 4 – лесной, № 2 – пойменный, № 3 – эвтрофная экада лесного экотипа) и биотипами (№№ 1, 3 и 4 – летняя форма, № 2 – зимняя форма).

Учетный образец № 1. По данным четырех резистограмм (№№ 793, 795, 796 и 797 для второго ствола) и образцов кернов выявлено 43 годичных кольца на длину 9,8 см. Учитывая толщину коры (1,8 см), на недостающие 14,5 см древесины на высоте 1,3 м может приходиться  $60 \times 0,6$  годичных колец (поправочный коэффициент на увеличение прироста в молодом возрасте). Экстраполируем данные на недостающий фрагмент и прибавляем 7 лет поправки на возраст достижения высоты 1,3 м; предположительный возраст учетного дерева составляет  $86 \pm 5$  лет.

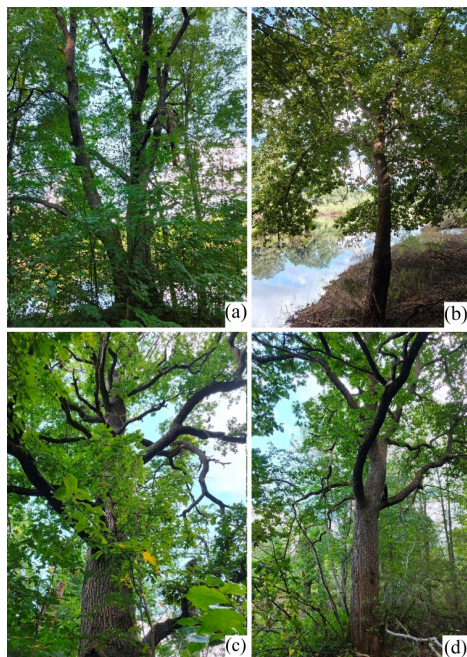


Рис. 3. Учетные деревья дуба черешчатого (*Quercus robur*):  
а – № 1 (прирусловый вал); б – № 2 (выклинивающаяся  
центральная пойма); с – № 3 (притеррасное понижение);  
d – № 4 (подножие коренного берега)

Fig. 3. Registered trees of English oak (*Quercus robur*):  
a – No. 1 (riverbank); b – No. 2 (pinching out central floodplain);  
c – No. 3 (terrace depression); d – No. 4 (foot of the bedrock bank)

Учетный образец № 2. По данным двух резистограмм (№№ 798, 799) и образцов кернов выявлено 53 годичных кольца на длину 29,6 см. С учетом 1,7 и 1,3 см коры прибавляем еще 7 лет поправки на возраст достижения высоты 1,3 м; предположительный возраст учетного дерева составляет 84 года.

Учетный образец № 3. По данным трех резистограмм (№№ 803, 804, 805) и образцов кернов выявлено 98 годичных колец на 31,5 см. До центра не дошли 11,5 см (учитывая 2,7 см коры), на такую длину в предыдущем отрезке керна укладывается 29 колец; экстраполируем данные на недостающий фрагмент и прибавляем еще 7 лет поправки на возраст достижения высоты 1,3 м; предположительный возраст экземпляра составляет 134 года.

Таблица 1

**Дендрологическая характеристика учетных деревьев  
*Quercus robur* в расширении поймы «Луга/Кемка»**

**Dendrological characteristics of the registered trees of  
*Quercus robur* in the “Luga/Kemka” floodplain expansion**

№ п/п	Экотип/форма	Дендрологическая характеристика*	Возраст, лет	Категория состояния, балл/наличие центральной гнили
1	Лесной/летняя	236/52 и 78 (два ствола)/115×175	86	2.5/+
2	Пойменный/зимняя	180/46/102×103	84	1.5/–
3	Переходный/летняя	234/90/170×160	134	2.0/+
4	Лесной/летняя	228/80/160×160	112	2.5 /+

*Примечание.* \*Дендрологическая характеристика: высота дерева, см/диаметр ствола, см/размеры проекции кроны: max., см × min., см. Нумерация деревьев – в порядке удаления от русла к коренному берегу: 1 – прирусловый вал, 2 – выклинивающаяся центральная пойма, 3, 4 – притеррасное понижение, подножие коренного берега

Учетный образец № 4. По данным двух резистограмм (№№ 806, 807) и образцов кернов выявлено 49,8 годичных колец на длину 36,2 см. С учетом толщины коры (2,1 см) прибавляем 7 лет поправки на возраст достижения высоты 1,3 м; предположительный возраст – 112 лет.

Цветовая схема, с помощью которой на графике маркируются участки изменения плотности древесины, показана на рис. 4. По оси ординат откладываются значения относительной плотности древесины (%), по оси абсцисс – диаметр исследуемого дерева (мм). Первой или последней, при наличии, может идти зона холостого хода сверла (участок маркируется серым цветом); при сверлении сопротивление равно 0 Resi. Далее находится зона коры (участок маркирован коричневым цветом); здесь уровень сопротивления сверлению повышается. После коры отмечается микрizona резкого падения сопротивления сверлению, что указывает на камбий. Далее идет древесина. При дальнейшем увеличении сопротивления сверлению можно констатировать зону здоровой древесины, с нормальной плотностью. На резистограмме такие участки маркированы зеленым цветом, тогда как в зоне деструкции древесины отмечается резкое падение сопротивления сверлению, показывающее, например, наличие гнили. Такие участки

маркируются, в случае незначительного снижения плотности древесины (к примеру, стволовая гниль находится на ранней стадии развития), желтым цветом, в случае значительного понижения плотности древесины, например, при сильном развитии гнили – красным. Полость, участок ствола с отсутствием древесины маркируется фиолетовым цветом. На резистограммах хорошо заметна разница между относительной плотностью ранней и поздней древесины годовичных слоев. Глубина резистограмм – 50 см.

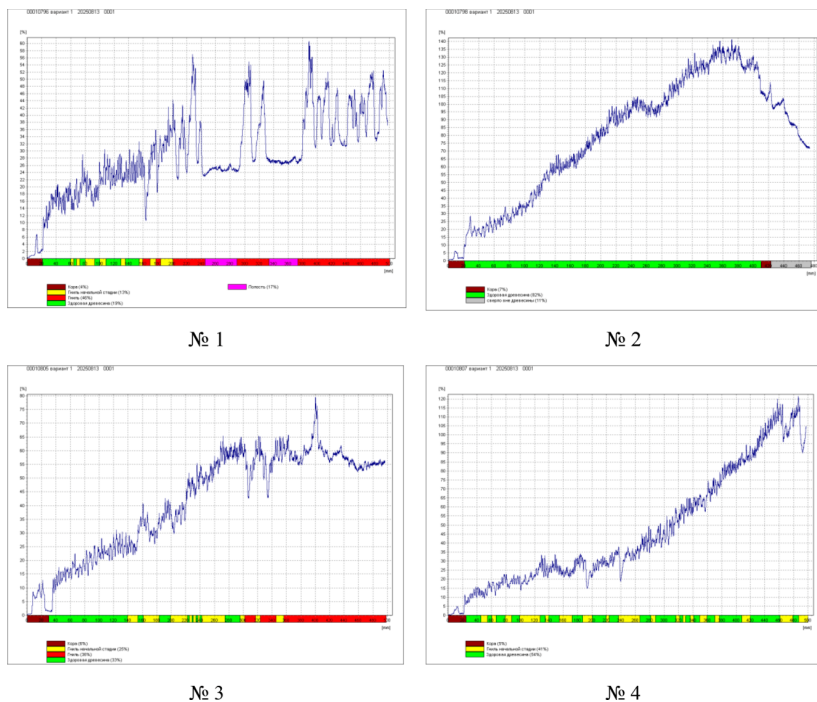


Рис. 4. Резистограммы учетных деревьев *Quercus robur*

Fig. 4. Resistograms of *Quercus robur* registered trees

Из анализа резистограммы учетного дерева *Q. robur* № 2 следует, что в стволе отсутствуют зоны внутренней деструкции древесины, т.е. скрытых патологий и свидетельств наличия гнили не найдено. Также на графике видно, что при бурении данного учетного дерева сверлом был пройден весь диаметр ствола (он составляет 46 см, что меньше длины сверла резистографа).

Анализ резистограмм учетных деревьев *Q. robur* №№ 1, 3 и 4 свидетельствует о наличии зон внутренней деструкции с неоднородной плотностью древесины, с гнилью на начальной стадии развития и зоны активной общей деструкции, с развивающейся и сильно развитой гнилью древесины, включающей полости. По нашему мнению, локальные нарушения плотности могут быть связаны в том числе с заросшими морозобойными трещинами, а также отлупными трещинами.

Учетные деревья занимают в основном дренированные местоположения, хотя все находятся в зоне весеннего половодья. На изученном профиле мы видим основные достаточно характерные для северных дубрав фрагменты: дубняк ландышевый (дренированные всхолмления прируслового вала), дубняк осоковый (менее дренированное местоположение центральной поймы), дубняк широколиственный (притеррасное понижение, контактирующее с элементами прирусловых ельников и их дериватов, распространенных на крутых склонах в южнотаежных лесах Северо-Запада России) (табл. 2).

Таблица 2

**Геоботаническая ситуация в пределах фитосферы учетных деревьев *Quercus robur* в расширении поймы «Луга/Кемка»**

**Geobotanical situation within the phytosphere of the recorded trees *Quercus robur* in the “Luga/Kemka” floodplain expansion**

№ п/п	Высота над меженным уровнем воды, м	Формула древо-стоя	Подлесок, подрост	Доминанты травяно-кустарничкового покрова
1	4	ЗД7Лп+Б+В+Е ед. С ед. Ос	<i>Quercus robur</i> , <i>Tilia cordata</i> , <i>Lonicera xylosteum</i> L., <i>Frangula alnus</i> Mill., <i>Rhamnus cathartica</i> L., <i>Populus tremula</i> L., <i>Sorbus aucuparia</i> L., <i>Padus avium</i> Mill., <i>Daphne mezereum</i> L., <i>Rosa canina</i> L., <i>Ulmus laevis</i> Pall., <i>Malus sylvestris</i> Mill., <i>Picea abies</i>	ландышевый ( <i>Convallaria majalis</i> L., <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Orobus vernus</i> L.)
2	1	ЗД6Б1Олч+И+Ч	<i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Salix caprea</i> L., <i>S. myrsinifolia</i> Salisb., <i>Solanum dulcamara</i> L., <i>Frangula alnus</i> , <i>Rosa canina</i> , <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn., <i>Padus avium</i> , <i>Ribes alpinum</i> L.	осоковый ( <i>Carex pilosa</i> Scop., <i>C. vulpina</i> L., <i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth, <i>C. canescens</i> (Weber) Roth)

Окончание табл. 2

№ п/п	Высота над меженным уровнем воды, м	Формула древостоя	Подлесок, подрост	Доминанты травяно-кустарничкового покрова
3	4	ЗДЗЛп2Р1Ос1Ч	<i>Quercus robur</i> , <i>Tilia cordata</i> , <i>Acer platanoides</i> , <i>Padus avium</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Rhamnus cathartica</i>	широкотравный ( <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Paris quadrifolia</i> L., <i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh., <i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv., <i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.)
4	4	ЗДЗЛп2Р1Ос1Ч	<i>Tilia cordata</i> , <i>Acer platanoides</i> , <i>Padus avium</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Ulmus laevis</i> , <i>Rhamnus cathartica</i> , <i>Quercus robur</i>	широкотравный ( <i>Rubus saxatilis</i> , <i>Angelica sylvestris</i> L., <i>Paris quadrifolia</i> )

Примечание: Формула древостоя: Б – береза (*Betula pendula* Roth); В – вяз (*Ulmus laevis*); Д – дуб (*Quercus robur*); Е – ель (*Picea abies*); И – ива (*Salix* spp.); Лп – липа (*Tilia cordata*); Олч – черная ольха (*Alnus glutinosa*); Ос – осина (*Populus tremula*); Р – рябина (*Sorbus aucuparia*); С – сосна (*Pinus sylvestris*); Ч – черемуха (*Padus avium*). Нумерация деревьев – в порядке удаления от русла к коренному берегу: 1 – прирусловый вал, 2 – выклинивающаяся центральная пойма, 3, 4 – притеррасное понижение, подножие коренного берега

В проекции кроны всех четырех детально обследованных деревьев *Q. robur* проведен учет подроста, давший следующую картину: дерево №1 – 18 особей, №2 – 1 особь, №3 – 12 особей, №4 – 41 особь.

На дренированном прирусловом аллювии в проекции кроны дуба черешчатого наблюдается стабильное возобновление *Q. robur* наряду с возобновлением липы, вяза, осины, ели и многих кустарниковых пород. К выклинивающемуся на изученном участке пространству центральной поймы (более широкая часть центральной поймы заболочена и закустарена *Salix* spp.) приурочен иной биотип дуба черешчатого – т.н. «зимняя форма», характеризующаяся в этом комплексе условий пойменным экотипом (т.е. не испытывавшим в ходе роста существенного бокового затенения, с шаровидной кроной, но, в отличие от типичного лугового экотипа, более тонкоствольного); в проекции кроны этого дерева единственный экземпляр дубового подроста теряется среди более обильного подроста черной ольхи, вяза, а также некоторых кустарников. Можно предположить, что данное дерево имеет искусственное происхождение и было высажено в период, когда эта территория использовалась под покосы [Сапожников, 2003; Сушков, 2010; Кошелева,

Шелухина, 2018], причем семенной материал был неместным. Два дуба лесного экотипа у подножия коренного берега (№№ 3 и 4) испытывают затенение со стороны приуроченного к склону восстанавливающегося в режиме оконной динамики сложного елово-липового леса, не характерного для южнотаежных плакоров, но обычного в южной части Ленинградской области по крутым склонам глубоко врезанных водотоков. В проекции кроны этих деревьев возобновление дуба также стабильное и обильное, при этом дубовые деревца конкурируют с более приспособленными к теневому строю елово-липовых лесов липовыми, кленовыми, вязовыми, осиновыми всходами, а также всходами местных бореальных и неморальных кустарников.

Данные о фитопатологическом состоянии детально обследованных деревьев приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Фитопатологическая характеристика учетных деревьев  
*Quercus robur* в расширении поймы «Луга/Кемка»**

**Phytopathological characteristics of *Quercus robur* trees  
in the “Luga/Kemka” floodplain expansion**

№ п/п	Усыхание ветвей, %	Локализация в кроне	<i>Vuilleminia comedens</i> (Nees) Maire, %	<i>Colpoma quercinum</i> (Fr.) Wallr., %
1	25	нижняя часть	10	15
2	15	» »	5	10
3	15	» »	5	10
4	20	» »	10	10

Учетные деревья характеризуются хорошим фитопатологическим состоянием (средняя категория состояния, балл – 2). В отличие от парковых деревьев дуба черешчатого, кроны которых формируются путем обрезок, в изученном локусе мы имеем дело с самоочищением кроны в чистом виде. Все учетные деревья, помимо зимней формы (№ 2), по данным резистографического обследования, имеют центральную гниль (возбудитель – *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill). При отсутствии отмирания нижних скелетных ветвей и сухобочин (что мы наблюдаем в пределах изученного локуса) центральная гниль, вызванная серно-желтым трутовиком, не является неблагоприятным прогностическим фактором: трутовик способствует выработке специфической архитектуры субсенильных особей [Шишлянникова и др., 2025]. Особое внимание привлекает эвтрофная экада переходного от лесного к пойменному экотипу, приуроченная к самой подошве коренного берега,

заливаемой в весеннее половодье (дерево № 3). Это дерево имеет толстый ствол (90 см диам.), мощный венец нижних неотмерших скелетных ветвей, характеризуется слабым поражением кроны виллеминиевым некрозом (5%), не несет следов антропогенного преобразования кроновой архитектуры и является, на наш взгляд, достойным кандидатом в список деревьев – памятников живой природы.

Таблица 4

**Характеристика почв в фитосфере учетных деревьев *Quercus robur* в расширении поймы «Луга/Кемка»**

**Characteristics of soils in the phytosphere of *Quercus robur* trees in the “Luga/Kemka” floodplain expansion**

№ участка	Тип почвы	Почвенные горизонты	Мощность, см	NO <sub>3</sub> , мг/100г почвы	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100г почвы	K <sub>2</sub> O, мг/100г почвы	Гумус, %	pH		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , %	Ca <sup>2+</sup> , %
								H <sub>2</sub> O	KCl			
1	Собственно аллювиальная дерновая кислая обычная маломощная укороченная среднегумусная супесчаная на речном аллювии	A <sub>1</sub>	0–10	0,28	5,07	3,80	4,39	5,81	4,21	0,00	0,00	1,76
		B	10–32	0,03	6,29	3,80	2,41	6,03	4,00	0,00	0,00	1,36
		CD	>32	0,34	3,57	3,80	0,63	5,88	4,59	0,00	0,00	1,20
2	Собственно аллювиальная дерновая кислая обычная маломощная укороченная многогумусная супесчаная на речном аллювии	A <sub>1</sub>	0–6	4,09	6,72	4,75	11,79	5,53	4,86	0,00	0,00	3,04
		B	6–13	1,80	4,54	3,80	1,95	5,79	4,2	0,00	0,00	1,84
		CD	>13	0,80	3,57	3,80	1,01	6,21	4,28	0,00	0,00	2,32
3	Собственно аллювиальная дерновая кислая обычная маломощная укороченная среднегумусная супесчаная на речном аллювии	A <sub>1</sub>	0–30	1,19	10,19	6,30	4,78	5,79	4,68	0,00	0,00	2,08
		B	>30	0,28	4,86	3,80	0,73	5,84	4,16	0,00	0,00	1,36

Почвы объектов исследования относятся к подтипу собственно аллювиальных дерновых кислых почв, которые формируются под приусловными лесами в условиях кратковременного затопления на положительных элементах рельефа центральной поймы на отложениях речного аллювия легкого механического состава. В аллювиальных почвах сформировался довольно мощный гумусовый горизонт, и они обладают более высоким плодородием по сравнению наиболее типичными почвами южнотаежных плакорных местообитаний. Исследуемые почвы (табл. 4) являются хорошо обеспеченными по содержанию органического вещества. Почвы на участках 1 и 2 относятся к низкообеспеченным по содержанию подвижного фосфора, а на участке 3 – к

среднеобеспеченным. По содержанию подвижного калия почвы участка 1 являются очень низкообеспеченными, а участков 2 и 3 – низкообеспеченными. По содержанию нитратного азота участки 1 и 3 являются крайне низкообеспеченными, а участок 2 – низкообеспеченным. По величине pH исследуемые почвы относятся к среднекислым. Наибольшее содержание органического вещества и карбонатов наблюдается у почв второго участка. Наиболее высокое содержание кальция в гумусовом горизонте связано с тем, что для аллювиальных почв является характерным образование нерастворимых соединений гуминовых кислот с кальцием. В целом стоит отметить, что наибольшим плодородием обладают почвы третьего опытного участка, так как они характеризуются наиболее высоким содержанием элементов минерального питания растений и самым протяженным гумусовым горизонтом.

*Заключение.* В целом исследованный дубовый локус представляет собой характерный осколок северных дубрав. На разных частях профиля лужской поймы воспроизводятся элементы дубняка ландышевого, волосистоосокового и склоновых неморальнотравных елово-липовых лесов. Дуб зимней формы в центральной части поймы имеет, вероятнее всего, антропогенное происхождение, остальные учетные деревья ассоциированы с местообитаниями, поток поколений дуба черешчатого в которых стабилен и воспроизводится без вмешательства человека. Участки поймы, раскорчеванные в свое время под покосы, сегодня активно закустариваются, и в перспективе такая тенденция может привести к восстановлению на пространстве центральной поймы черноольхово-дубово-березовых мозаик с ослабленными позициями хвойных пород. Почвы с менее подвижным, нежели на таежных плакорах, и, соответственно, медленнее вымываемым кальцием дополнительно обогащены речным аллювием, а в делювиальной зоне – сносимым с коренного берега мелкоземом. Деревья дуба в этой зоне приобретают эвтрофную экаду, что косвенно свидетельствует о том, что аллювиальные наносы крупных рек и притеррасные понижения борео-неморальных пойм представляют эдафический оптимум *Q. robur* на северной границе естественного ареала этой породы.

*Благодарности.* Авторы благодарны к.б.н. В.В. Бялту за определение *Salix myrsinifolia* и ценные советы.

*Вклад авторов.* Все авторы внесли равный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

*Сведения о финансировании.* Работы проводились в рамках государственных заданий учреждений по месту основной работы авторов.

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

### Библиографический список

Авраменко А.А. Исследование внутреннего состояния и структуры древесины с использованием прибора Резистограф R650-SC // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. 2021. № 1 (49). С. 177–180.

Александрова Л.Н., Найденова О.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л.: Колос, 1967. 352 с.

Александрова В.Д., Юрковская Т.К. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.

Богданов П.Л. Дендрология. М.: Лесная промышленность, 1974. 240 с.

Двадцать пять формул Пресслера для вычисления древесного прироста и лесной приростный бурав. СПб.: Издание А.Ф. Дервиена, 1875. 92 с.

Добрынин А.П., Комиссарова М.Г. Самые северные дубравы России. Вологда, 2012. 188 с.

Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.

Звягинцев В.Б. Блинцов А.И., Козел А.В., Кухта В.Н., Сазонов А.А., Середич М.О., Хвасько А.В. Защита леса. Минск: БГТУ, 2019. 164 с.

Кошелева Е.А., Шелухина О.А. Реконструкция эволюции Лужско-Плюского ландшафта на основе данных голоценовых отложений // Вестник Московского гос. обл. ун-та. Сер. Естественные науки. 2018. № 1. С. 7–17. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-1-7-17.

Кузьмичев Е.П., Соколова Э.С., Мозолевская Е.Г. Болезни древесных растений. Справочник. Т. 1. М.: ВНИИЛМ, 2004. 120 с.

Мозолевская Е.Г., Катаев О.А., Семенкова И.Г. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 152 с.

Недбаев В.Н., Мальшева Е.В. Агрохимия. Анализ растений, почв и удобрений: учеб. пособие. Курск: Курский ГАУ, 2019. 117 с.

Пальчиков С.Б., Анциферов А.В. Оценка состояния деревьев, пораженных кислотрофными грибами, с помощью приборов Resistograph и Arbotom // Евразийский Союз Ученых. 2016. № 4 (25). С. 121–125.

Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии: монография. М.: МГУЛ, 2010. 109 с.

Румянцев Д.Е., Черакшев А.В. Методические подходы для определения возраста деревьев // Принципы экологии. 2020. № 4. С. 104–117. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10142.

Сапожников А.А. Структура почвенного покрова местоположений водораздельной равнины Лужско-Плюского ландшафта и ее антропогенная трансформация // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2003. Вып. 2 (№ 15). С. 75–86.

Спирина В.З., Соловьева Т.П. Агрохимические методы исследования почв, растений и удобрений: учеб. пособие. Томск: Изд. дом ТГУ, 2014. 336 с.

*Субота М.Б., Богданова Л.С., Партолина А.Н., Часовская В.В.* Агрохимия: лабораторный практикум. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. 48 с.

*Сушков С.Ф.* История геостанции «Железо» // Официальный сайт университета имени А.И. Герцена. 2010. URL: <https://web.archive.org/web/20140714142523/http://www.herzen.spb.ru/main/structure/fukultets/geo/zelezo/history/> (дата обращения: 01.11.2025).

*Фурменкова Е.С., Кочергина М.В.* Методы диагностики состояния древесных растений по внешним патологическим признакам // Вестник Бурятской гос. с.-х. академии им. В.Р. Филиппова. 2021. № 4 (65). С. 164–171. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.022.

*Цвелев Н.Н.* Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб.: Изд-во СПХФА, 2000. 781 с.

*Шишлянникова А.Б., Змитрович И.В., Зарудная Г.И., Перелыгин В.В., Жариков М.В.* Результаты микологического обследования побеговой системы “Ириновского дуба” (Ленинградская область, Россия) // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57, № 6. С. 456–461. DOI: 10.31857/S0026364823060120.

*Шишлянникова А.Б., Змитрович И.В., Данилов Д.А., Бачеригов И.В.* Лесная и луговая группы экотипов дуба черешчатого и их фитопатологическая характеристика // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 254. С. 279–300. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.254.279-300.

*Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазена В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М.* Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.

*Rinn F.* Key to evaluating resistance drilling profiles // *Western Arborist*. 2015. P. 16–21.

*Rinn F.* Intact-decay transitions in profiles of density-calibratable resistance drilling devices using long thin needles // *Arbicultural Journal*. 2016. Vol. 38, no. 4. P. 204–217. DOI: 10.1080/03071375.2016.1228336.

## References

*Aleksandrova L.N., Naydenova O.A.* Laboratory and Practical Classes in Soil Science. Leningrad: Kolos, 1967. 352 p. (In Russ.)

*Aleksandrova V.D., Yurkovskaya T.K.* Geobotanical Zoning of the Non-Chernozem Region of the European Part of the RSFSR. Leningrad: Nauka, 1989. 64 p. (In Russ.)

*Avramenko A.A.* Study of the Internal State and Structure of Wood Using the Resistograph R650-SC Device. *Criminology, Forensics, and Forensic Science*, 2021, no. 1 (49), pp. 177–180. (In Russ.)

*Bogdanov P.L.* Dendrology. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1974. 240 p. (In Russ.)

Dobrynin A.P., Komissarova M.G. The northernmost oak forests of Russia. *Vologda*, 2012. 188 p. (In Russ.)

Egorov V.V., Ivanova E.N., Fridland V.M. Classification and diagnostics of soils of the USSR. Moscow: Kolos, 1977. 224 p. (In Russ.)

Furmenkova, E.S., Kochergina, M.V. Methods for diagnosing the condition of woody plants based on external pathological signs. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*, 2021, no. 4 (65), pp. 164–171. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.022. (In Russ.)

Kosheleva E.A., Shelukhina O.A. Reconstruction of the evolution of the Luga-Plussa landscape based on Holocene deposits. *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences*, 2018, no. 1, pp. 7–17. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-1-7-17. (In Russ.)

Kuzmichev E.P., Sokolova E.S., Mozolevskaya E.G. Diseases of Woody Plants. Handbook. Vol. 1. Moscow: VNIILM, 2004. 120 p. (In Russ.)

Mozolevskaya E.G., Kataev O.A., Semenkova I.G. Methods of forest pathological survey of foci of stem pests and forest diseases. Moscow: Lesn. prom-'st, 1984. 152 p. (In Russ.)

Nedbaev V.N., Malysheva E.V. Agrochemistry. Analysis of Plants, Soils, and Fertilizers: textbook. Kursk: Kursk State Agrarian University, 2019. 117 p. (In Russ.)

Palchikov S.B., Antsiferov A.V. Assessing the condition of trees affected by xylotrophic fungi using resistograph and arbotom instruments. *Eurasian Union of Scientists*, 2016, no. 4 (25), pp. 121-125. (In Russ.)

Rinn F. Key to evaluating resistance drilling profiles. *Western Arborist*, 2015, pp. 16–21.

Rinn F. Intact-decay transitions in profiles of density-calibratable resistance drilling devices using long thin needles. *Arboricultural Journal*, 2016, vol. 38, no. 4, pp. 204–217. DOI: 10.1080/03071375.2016.1228336.

Rumyantsev D.E. History and Methodology of Silvicultural Dendrochronology: monograph. Moscow: Moscow State University of Forestry, 2010. 109 p. (In Russ.)

Rumyantsev D.E., Cherakshev A.V. Methodological approaches to determining the age of trees. *Principles of Ecology*, 2020, no. 4, pp. 104–117. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10142. (In Russ.)

Sapozhnikov A.A. Soil cover structure of locations of the Luga-Plussa landscape watershed plain and its anthropogenic transformation. *Vestnik SPbU. Ser. 7*, 2003, iss. 2 (no. 15), pp. 75–86. (In Russ.)

Shishlyannikova A.B., Zmitrovich I.V., Zarudnaya G.I., Pereygin V.V., Zharikov M.V. Results of a mycological examination of the shoot system of the Irinovskiy Oak (Leningrad Region, Russia). *Mikologiya i fitopatologiya*, 2023, vol. 57, no. 6, pp. 456–461. DOI: 10.31857/S0026364823060120. (In Russ.)

Shishlyannikova A.B., Zmitrovich I.V., Danilov D.A., Bacherikov I.V. Forest and meadow groups of common oak ecotypes and their phytopathological characteristics.

*Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025, iss. 254, pp. 279–300. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.254.279-300. (In Russ.)

*Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M.* Methods of Dendrochronology. Part I. Fundamentals of Dendrochronology. Collection and Obtaining Tree-Ring Information: a teaching guide. Krasnoyarsk: KrasSU, 2000. 80 p. (In Russ.)

*Spirina V.Z., Solovieva T.P.* Agrochemical Methods for Studying Soils, Plants, and Fertilizers: textbook. Tomsk: Tomsk State University Press, 2014. 336 p. (In Russ.)

*Subota M.B., Bogdanova L.S., Partolina A.N., Chasovskaya V.V.* Agrochemistry: laboratory workshop. St. Petersburg: SPbGLTU, 2018. 48 p. (In Russ.)

*Sushkov S.F.* History of the Zhelezo Geostation // Official site of University named after A.I. Herzen. 2010. URL: <https://web.archive.org/web/20140714142523/http://www.herzen.spb.ru/main/structure/fukultets/geo/zelezo/history/> (accessed November 01, 2025). (In Russ.)

*Tsvelev N.N.* Identification of Vascular Plants of Northwestern Russia (Leningrad, Pskov, and Novgorod Regions). St. Petersburg: SPHFA Publishing House, 2000. 781 p. (In Russ.)

Twenty-five Pressler Formulas for Calculating Tree Increment and a Forest Increment Borer. St. Petersburg: Publishing house A.F. Derviena, 1875. 92 p. (In Russ.)

*Zyugintsev V.B., Blintsov A.I., Kozel A.V., Kukhta V.N., Sazonov A.A., Seredich M.O., Khvasko A.V.* Forest Protection. Minsk: BSTU, 2019. 164 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 02.12.2025*

---

**Шишляникова А.Б., Герасимова Т.А., Данилов Д.А., Демчук А.С., Ковальшкин В.Ю., Фирсов Г.А., Хмарик А.Г., Шкурников Е.Д., Яковлев А.А., Змитрович И.В.** Популяция дуба черешчатого (*Quercus robur*) в расширении поймы реки Луги (Лужский район Ленинградской области): дендрологическая, фитопатологическая, почвенно-экологическая характеристика // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 29–51. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.29-51

Цель настоящей работы – комплексная (дендрологическая, фитопатологическая, почвенно-экологическая) характеристика популяции дуба черешчатого (*Quercus robur*), приуроченной к одному из немногочисленных естественных местообитаний этой породы на северной границе ареала (расширение поймы р. Луги в месте впадения в нее р. Кемки, южнотаежная подзона) с акцентом на старовозрастных (позднегенеративных и субсенильных) особях. В ходе рекогносцировочного обследования было выявлено 31 дерево дуба черешчатого, которые находятся в зоне воздействия весеннего половодья. Подробное изучение было проведено для четырех деревьев *Quercus robur*

субсенильного возраста (от 84 до 134 лет). Учетное дерево № 1 находится на аллювиальном всхолмлении прируслового вала, дерево № 2 – на выровненной перемычке, расположенной в зоне выклинивания центральной поймы, а деревья № 3 и 4 растут в притеррасном понижении с углублением в сторону коренного берега. Эти деревья принадлежат к разным экотипам – лесному (№ 1 и № 4), пойменному (№ 2) и переходному (№ 3). Также они демонстрируют разные биотипы: три дерева представлены летней формой (№№1, 3 и 4), одно – зимней (№ 2). Все изученные деревья расположены преимущественно на хорошо дренированных участках, несмотря на их нахождение в зоне регулярного весеннего подтопления. Под кронами деревьев наблюдается стабильное и обильное возобновление дуба. Однако молодые дубовые деревца конкурируют с теневыносливыми породами лиственных лесов, такими как липа, клен, вяз, осина, а также с кустарниками бореального и неморального типов. Анализ состояния учетных деревьев показал их хорошее фитопатологическое состояние с общей средней оценкой в 2 балла. В отличие от парковых деревьев дуба черешчатого, кроны которых корректируют обрезкой, у этих деревьев процесс самоочистения крон происходит естественным образом. Большинство деревьев, за исключением экземпляра зимней формы (№ 2), имеют центральную гниль, вызванную трутовиком *Laetiporus sulphureus*. Почвы исследуемого участка относятся к подтипу аллювиальных дерновых кислых почв. Они формируются под воздействием кратковременных затоплений. Аллювиальные почвы отличаются наличием мощного гумусового горизонта и высоким плодородием, превосходя типичные подзолистые почвы южнотаежных плакоров. В целом исследованный дубовый локус можно считать характерным примером фрагмента северных дубрав. Здесь представлены основные геоботанические ситуации, характерные для дубняков ландышевого, осокового и склоновых неморальнотравных лесов с преобладанием ели и липы. Дуб в центральной части поймы имеет, вероятно всего, антропогенное происхождение, остальные модельные деревья ассоциированы с местообитаниями, поток поколений дуба черешчатого в которых стабилен и воспроизводится без вмешательства человека.

Ключевые слова: дубравы, неморальные поймы, фитопатологическое состояние дуба, экотипы дуба, южная тайга.

**Shishlyannikova A.B., Gerasimova T.A., Danilov D.A., Demchuk A.S., Kovalyshkin V.Yu., Firsov G.A., Khmarik A.G., Shkurenkov E.D., Yakovlev A.A., Zmitrovich I.V.** Population of common oak (*Quercus robur*) in the widening of the Luga River floodplain (Luzhsky district of the Leningrad region): dendrological, phytopathological, soil-ecological characteristics. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 29–51 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.29-51

This study aims to provide a comprehensive dendrological, phytopathological, and soil-ecological analysis of the English oak (*Quercus robur*) population within a natural habitat at the northern extreme of its distribution. The habitat in question lies in the southern taiga subzone, specifically an extension of the Luga River floodplain near its confluence with the Kemka River. The focus is on old-growth trees, particularly late-generational and subsenile individuals. A preliminary survey identified 31 English oak trees affected by seasonal spring flooding in the area. A detailed investigation was conducted on the four subsenile-aged trees, ranging from 84 to 134 years. These trees occupy distinct microhabitats: Tree N 1 grows on an alluvial riverbank uplift; Tree N 2 – on a flat isthmus within the central floodplain zone; Trees N 3 and N 4 are situated in a terrace depression sloping toward a bedrock bank. The trees represent three ecotypes – forest (Trees N 1 and N 4), floodplain (Tree N 2) and intermediate (Tree N 3) – and include different biotypes. Three are classified as summer forms (N 1, 3, and 4), while one is a winter form (N 2). All trees are located primarily in well-drained zones despite the periodic flood conditions. Under the tree canopies, oak regeneration appears robust and plentiful. However, young saplings face competition from shade-tolerant broadleaved species – such as linden, maple, elm, and aspen – as well as boreal and nemoral shrubs. Phytopathological assessments concluded that the trees are generally in good health, with an average condition score of 2. Notably, these natural forest oaks undergo self-regulated crown cleansing rather than human intervention, such as pruning. Central rot caused by the polypore *Laetiporus sulphureus* was identified in most trees except for Tree N 2, which represents the winter form. The soils in this area are classified as alluvial soddy acidic soils, shaped by short-term seasonal flooding. They possess a well-developed humus horizon and exhibit high fertility levels that surpass those of typical podzolic soils found in southern taiga floodplains. This fertile soil underpins a diverse ecosystem typical of northern oak forests. The site encompasses geobotanical features representative of lily-of-the-valley oak forests, sedge oak forests, and slope nemoral grass forests dominated by spruce and linden. While the central floodplain oaks are likely of anthropogenic origin, the other mature specimens reflect habitats where natural regeneration of English oak occurs consistently without human interference. This location serves as an illustrative fragment of northern oak forest ecology, encapsulating key environmental dynamics of this habitat type.

**Key words:** oak groves, nemoral floodplains, phytopathological condition of oak, oak ecotypes, southern taiga.

---

**ШИШЛЯННИКОВА Арина Борисовна** – заведующий отделением Колледжа технологий лесного комплекса и садово-паркового хозяйства, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени

С.М. Кирова, кандидат биологических наук., SPIN-код: 2962-9507. ScopusID: 58679883300. ORCID: 0009-0000-0367-4105.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ArBorShi@mail.ru

**SHISHLYANNIKOVA Arina B.** – PhD (Biology), Head of Department of College of Forestry and Gardening Technologies, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 2962-9507. ScopusID: 58679883300. ORCID: 0009-0000-0367-4105.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: ArBorShi@mail.ru

**ГЕРАСИМОВА Татьяна Алексеевна** – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 6178-5760. ORCID: 0009-0006-0904-0561.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gerasimova@spbftu.ru

**GERASIMOVA Tatyana A.** – PhD student, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 6178-5760. ORCID: 0009-0006-0904-0561.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: gerasimova@spbftu.ru

**ДАНИЛОВ Дмитрий Александрович** – заведующий кафедрой почвоведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. SPIN-код: 5826-3852. ResearcherID: S-7007-2019. ScopusID: 57205402682. ORCID: 0000-0002-7504-5743.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: stown200@mail.ru

**DANILOV Dmitry A.** – DSc (Agricultural), Head of Soil Science Department, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 5826-3852. ResearcherID: S-7007-2019. ScopusID: 57205402682. ORCID: 0000-0002-7504-5743

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: stown200@mail.ru

**ДЕМЧУК Анна Сергеевна** – ассистент кафедры промышленного транспорта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Anna-demchuk@inbox.ru

**DEMCHUK Anna S.** – Assistant, Department of Industrial Transport, St.Petersburg State Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: Anna-demchuk@inbox.ru

**КОВАЛЫШКИН Виктор Юрьевич** – арборист, ИП Ковалышкин «Сервис зеленых насаждений».

195273, Пискаревский пр., д. 63, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gadalova@yandex.ru

**KOVALYSHKIN Viktor Yu.** – certified arborist, Green Spaces Service LLC.

195273. Piskarevsky av. 63. St. Petersburg. Russia. Email: gadalova@yandex.ru

**ФИРСОВ Геннадий Афанасьевич** – старший научный сотрудник Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН, куратор парка-дендрария Ботанического сада Петра Великого Ботанического института РАН, кандидат биологических наук. SPIN-код: 4155-3190. ResearcherID: I-3174-2013. ScopusID: 18037310700. ORCID: 0000-0002-6611-5199.

197022, ул. Профессора Попова, д. 2, лит. В, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: gennady\_firsov@mail.ru

**FIRSOV Gennady A.** – PhD (Biological), Senior Researcher at the Komarov Botanical Institute of the RAS, Curator of the Arboretum Park of the Peter the Great Botanical Garden of the Botanical Institute of the RAS. SPIN-code: 4155-3190. ResearcherID: I-3174-2013. ScopusID: 18037310700. ORCID: 0000-0002-6611-5199.

197022. Professora Popova str. 2. Let. V. St. Petersburg. Russia. E-mail: gennady\_firsov@mail.ru

**ХМАРИК Александр Геннадьевич** – главный агроном Научно-опытной станции «Отрадное» Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. SPIN-код: 3842-3919. ORCID: 0000-0002-0344-7014.

197022, ул. Профессора Попова, д. 2, лит. В, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: akhmarik@binran.ru

**KHMARIK Alexander G.** – Chief Agronomist of the Scientific Experimental Station “Otradnoye”, Komarov Botanical Institute of the RAS. SPIN-code: 3842-3919. ORCID: 0000-0002-0344-7014.

197022. Professora Popova str. 2. Let. V. St. Petersburg. Russia. E-mail: akhmarik@binran.ru

**ШКУРЕНКОВ Евгений Дмитриевич** – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 2699-7863. ORCID: 00009-0000-6594-1256.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shkurenov@spbftu.ru

**SHKURENKOV Evgeniy D.** – PhD student, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 2699-7863. ORCID: 00009-0000-6594-1256.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: shkurenov@spbftu.ru

**ЯКОВЛЕВ Артём Антонович** – доцент кафедры почвоведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 2007-0046. ORCID: 0000-0001-8450-2806.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: artem95692@gmail.com

**YAKOVLEV Artem A.** – PhD (Agricultural), Associate Professor of the Soil Department, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 2007-0046. ORCID: 0000-0001-8450-2806.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: artem95692@gmail.com

**ЗМИТРОВИЧ Иван Викторович** – ведущий научный сотрудник Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН, доктор биологических наук. SPIN-код: 4155-3190. ResearcherID: I-1523-2013. ScopusID: 56521442400. ORCID: 0000-0002-3927-2527

197022, ул. Профессора Попова, д. 2, лит. В, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: iv\_zmitrovich@mail.ru

**ZMITROVICH Ivan V.** – DSc (Biological), Leading Researcher in Komarov Botanical Institute of the RAS. SPIN-code: 4155-3190. ResearcherID: I-1523-2013. ScopusID: 56521442400. ORCID: 0000-0002-3927-2527 197376.

197022. Professora Popova str. 2. Let. V. St. Petersburg. Russia. E-mail: iv\_zmitrovich@mail.ru

**А.А. Тебякина, Т.В. Изотова**

## **АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ООПТ МОСКВЫ**

*Введение.* Москва является крупнейшим мегаполисом России с постоянно растущим населением, что обуславливает высокую потребность в зонах рекреации и возрастающую рекреационную нагрузку на существующие ООПТ.

В настоящее время в границах территории Москвы находится 148 ООПТ [Список..., 2024]. Учитывая урбанизированность ландшафта, остро встает вопрос их сохранения и интегрированности в городскую среду, поддержания баланса между благоустроенными территориями, приспособленными для посещения, и природными, нетронутыми участками.

Польза ООПТ не ограничивается только природоохранными аспектами. Они являются важными рекреационными зонами для жителей города, обеспечивая возможности для отдыха и занятий спортом. Благоустройство таких территорий может значительно повысить качество жизни москвичей, предоставляя безопасные и удобные места для досуга. Для грамотного благоустройства необходимо понимать возможное количество посетителей того или иного объекта – его рекреационную нагрузку.

В столице регулярно проводятся работы по благоустройству ООПТ. За последние годы было благоустроено или находится в процессе благоустройства несколько крупных природных территорий – Покровское-Стрешнево, Сокольники, Серебряный Бор, Строгино. Каждый раз в момент начала работ и до их окончания в сети появляются веб-сайты и телеграмм-каналы, призывающие защитить эти ООПТ [Сохраним..., 2025; Сохраним Строгино, 2025; Строгино..., 2025; Благоустройство..., 2025; Сокольники..., 2025]. Подобная реакция во многом связана с тем, что проектная документация содержит значительный объём исследований и изысканий, из-за чего жителям бывает не просто в полной мере разобраться в её содержании. При этом разрабатываемые проекты учитывают существующую рекреационную нагрузку на парковые территории и предусматривают ее возможное увеличение в связи с расширением и разнообразием функционального наполнения.

Полученные в ходе исследования данные позволяют оценить потенциальную рекреационную нагрузку на ООПТ города Москвы в зависимости от их транспортной доступности.

*Цели исследования* – получение численного значения потенциальной рекреационной нагрузки на ООПТ города Москвы для последующего благоустройства.

*Задачи исследования:*

- рассчитать потенциальную рекреационную нагрузку на ООПТ города Москвы;
- проанализировать полученные значения;

*Объекты и методика исследования.* Объекты исследования – природный парк «Северное Тушино» (территория «Алешкинский лес»), Щукинский лесопарк и Всехсвятская роща, природный заказник «Воробьевы горы».

При расчете рекреационной нагрузки, в соответствии с Московскими городскими строительными нормами (МГСН) 1.02-02<sup>1</sup>, за расчетную площадь берется общая площадь территории объекта рекреации.

Рекреационная нагрузка территории рассчитывается исходя из численности населения, проживающего в районе 10-20 мин транспортной доступности.

Для расчета транспортной доступности использовалась программа QGIS с установленным модулем ORS Tools для построения изохрон. Изохроны отображают транспортную доступность в радиусе 10 и 20 минут езды на автомобиле от центральной точки парка.

Перечень объектов ООПТ, расположенных в зоне доступности от проектируемой территории, составлялся на основе открытых данных с использованием портала ГИС ОГД [Государственная..., 2025].

Фактическая рекреационная нагрузка определялась замерами, потенциальная – рассчитывалась по формуле (1):

$$R = N_i / S_i, \quad (1)$$

где R – рекреационная нагрузка,  $N_i$  – количество посетителей объектов рекреации,  $S_i$  – площадь рекреационной территории.

В соответствии с рекомендациями МГСН проектное число посетителей, одновременно находящихся на территории рекреации, составляет 10-15% от численности населения, проживающего в зоне доступности объекта рекреации.

---

<sup>1</sup> МГСН 1.02-02. Нормы и правила проектирования комплексного благоустройства на территории города Москвы. Внесены Комплексом архитектуры, строительства, развития и реконструкции города Правительства Москвы. Утверждены Постановлением Правительства Москвы от 06.08.02 № 623-ПП. Подготовлены ГУП НИИПИ Генплана Москвы Москомархитектуры.

*Результаты исследования.*

*Алешкинский лес.* В радиус доступности данного объекта частично попадают Северный и Северо-Западный административные округа г. Москвы (рис. 1). Численность населения СЗАО на 2020 г. составляла 1012 тыс. человек, численность населения САО – 1118 тыс. человек [Оценка..., 2024]. В целом в зоне доступности проектируемой территории проживает около 1546,3 тыс. человек (70% населения округов).

Проектное число посетителей, одновременно находящихся на территории рекреации, составляет 155 тыс. человек (10% от общей численности населения).

Размещение других ООПТ относительно Алешкинского леса представлено на рис. 2, а их перечень приведен в табл. 1.

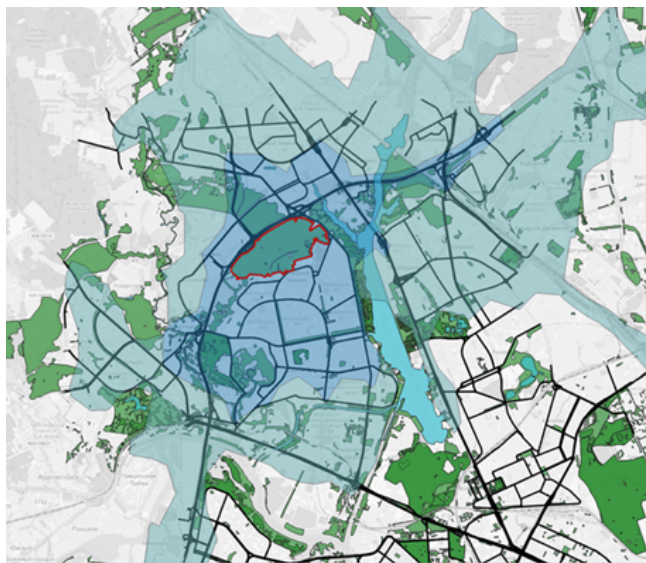


Рис. 1. Изохроны, отображающие транспортную доступность Алешкинского леса:



-  – Изохрон транспортной доступности в радиусе 10 минут;
-  – Изохрон транспортной доступности в радиусе 20 минут

Fig. 1. Isochrons showing transport accessibility of Aleshkinskiy forest:



-  – Isochron of transport accessibility within a 10-minute radius;
-  – Isochron of transport accessibility within a 20-minute radius



Рис. 2. Расположение ООПТ относительно Аleshкинского леса

Fig. 2. Location of the specially protected natural area relative to the Aleshkinskiy forest

Таблица 1

**Перечень ООПТ в зоне транспортной доступности**

**List of specially protected natural areas in the transport accessibility zone**

№ п/п	Наименование ООПТ	Площадь по ППМ № 38* (уточненная, в зоне пешеходной доступности)
1	ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк «Тушинский»	659,02
2	ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк «Москворецкий»	3660,52
3	ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк «Покровское-Стрешнево»	222,28
4	ООПТ регионального значения «Ландшафтный заказник «Долина реки Сходни в Куркино»	245,5
5	ООПТ регионального значения «Ландшафтный заказник «Химкинский»	79,7

*Примечание:* Здесь и в табл. 2, 3 \* – ППМ № 38 – Постановление Правительства Москвы от 19.01.1999 г. № 38 «О проектных предложениях по установлению границ Природного комплекса с их описанием и закреплением актами красных линий».

Проектная суммарная площадь всех объектов с учетом рассматриваемой территории в зоне доступности составит 4867,02 га.

Рекреационная нагрузка равна:  $155000 / 4867,02 = 31$  чел./га.

*Щукинский лесопарк и Всехсвятская роща.* В радиусе доступности данного объекта частично попадают Северный и Северо-Западный административные округа г. Москвы (рис. 3). В целом в зоне доступности проектируемой территории проживает около 1546,3 тыс. человек (70% населения округов).

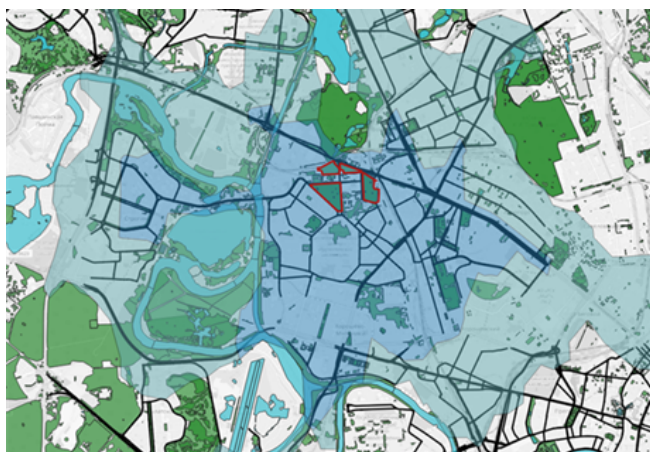


Рис. 3. Изохроны, отображающие транспортную доступность Щукинского лесопарка и Всехсвятской рощи:





-  – Изохрон транспортной доступности в радиусе 10 минут;
-  – Изохрон транспортной доступности в радиусе 20 минут

Fig. 3. Isochrons showing transport accessibility of Shchukinskiy forest park and Vsekhsvyatskaya grove:

-  – Isochron of transport accessibility within a 10-minute radius;
-  – Isochron of transport accessibility within a 20-minute radius

Проектное число посетителей, одновременно находящихся на территории рекреации, составляет 155 тыс. человек (10% от общей численности населения).

Размещение других ООПТ относительно Щукинского лесопарка и Всехсвятской рощи представлено на рис. 4, а их перечень приведен в табл. 2.

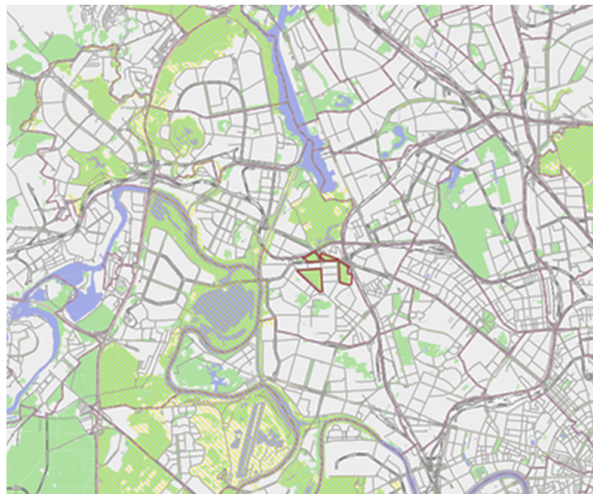


Рис. 4. Расположение ООПТ относительно Щукинского лесопарка и Всехсвятской роши

Fig. 4. Location of the specially protected natural areas relative to the Shchukinskiy forest park and Vsekhsvyatskaya grove

Таблица 2

**Перечень объектов ООПТ в зоне транспортной доступности**

**List of protected areas in the transport accessibility zone**

№ п/п	Наименование объектов ООПТ	Площадь по ППМ № 38* (уточненная, в зоне пешеходной доступности)
1	ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк «Москворецкий»	3660,52
2	ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк «Покровское-Стрешнево»	222,28

Проектная суммарная площадь всех объектов с учетом рассматриваемой территории в зоне доступности составит 3882,80 га.

Рекреационная нагрузка равна:  $155000 / 3882,8 = 40$  чел./га.

*Воробьевы горы.* В радиус доступности данного объекта частично попадают Центральный, Западный, Юго-Западный и Северо-Западный округа г. Москвы (рис. 5). Численность населения ЦАО на 2020 г. составляла 784 тыс. человек, ЗАО – 1397 тыс. человек, СЗАО – 1012 тыс. человек, ЮЗАО – 1448 тыс. человек [Оценка..., 2024]. В целом в зоне доступности рассматриваемой территории проживает около 2778 тыс. человек (70% населения округов).

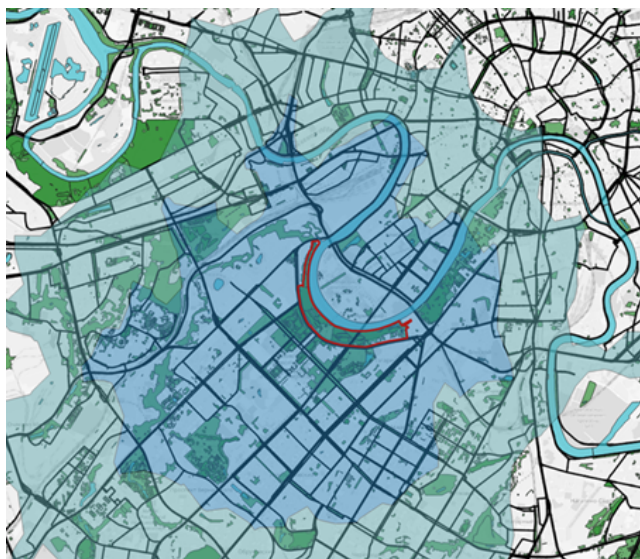


Рис. 5. Изохроны, отображающие транспортную доступность Воробьевых гор:

- – Изохрон транспортной доступности в радиусе 10 минут;
- – Изохрон транспортной доступности в радиусе 20 минут

Fig. 5. Isochrons showing transport accessibility of Vorobyovy gory:

- – Isochron of transport accessibility within a 10-minute radius;
- – Isochron of transport accessibility within a 20-minute radius

Проектное число посетителей, одновременно находящихся на территории рекреации, составит 277,8 тыс. человек (10% от общей численности населения).

Размещение других ООПТ относительно Воробьевых гор представлено на рис. 6, а их перечень приведен в табл. 3.

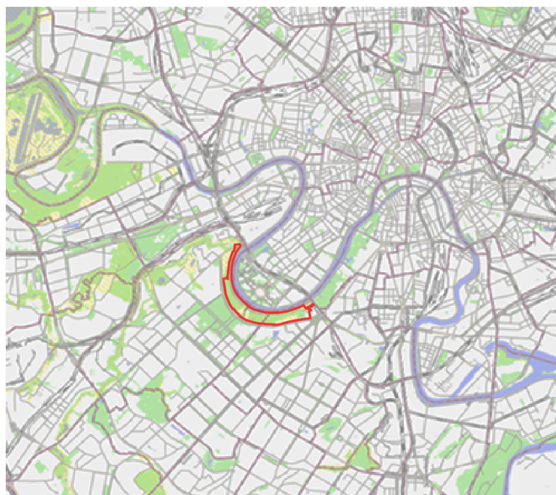


Рис. 6. Расположение ООПТ относительно Воробьевых гор

Fig. 6. Location of the specially protected natural areas relative to the Vorobyovy gory

Таблица 3

**Перечень объектов ООПТ в зоне транспортной доступности**

**List of specially protected natural areas in the transport accessibility zone**

№ п/п	Наименование объектов ООПТ	Площадь по ППМ № 38* (уточненная, в зоне пешеходной доступности)
1	ООПТ регионального значения «Природный заказник «Долина реки Сетуни»	696,2
2	ООПТ регионального значения «Природно-исторический парк «Москворецкий»	3660
3	ООПТ регионального значения «Ландшафтный заказник «Долина реки Раменки»	32
4	ООПТ регионального значения «Ландшафтный заказник «Лес на реке Самородинке»	96,15
5	ООПТ регионального значения «Ландшафтный заказник «Долина реки Котловки»	3,5
6	ООПТ регионального значения «Ландшафтный заказник «Долина реки Очаковки»	21,5

Проектная суммарная площадь всех объектов с учетом рассматриваемой территории в зоне доступности составит 4509,15 га.

Рекреационная нагрузка равна:  $277800 / 4509,15 = 61$  чел./га.

*Заключение.* В результате проведенной работы было получено числовое значение потенциальной рекреационной нагрузки на рассматриваемые ООПТ города Москвы (рис. 7).

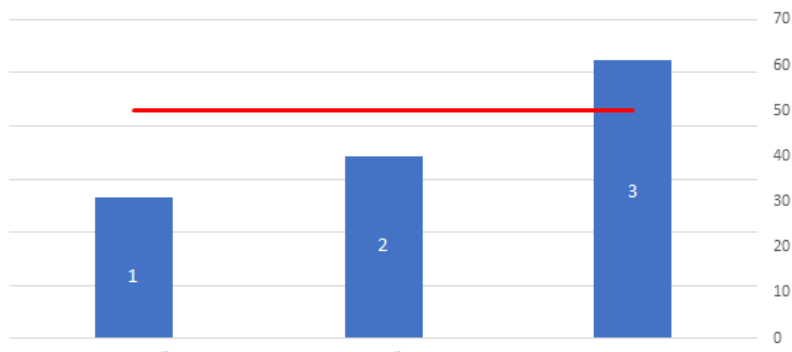


Рис. 7. График расчетной рекреационной нагрузки на изучаемые ООПТ г. Москвы: 1 – Аleshкинский лес, 2 – Щукинский парк, 3 – Воробьевы горы; ■ – рекреационная нагрузка, чел./га; — — — — — предельная рекреационная нагрузка, чел./га

Fig. 7. The schedule of the estimated recreational load on the studied specially protected natural areas of Moscow:

1 – Aleshkinskiy forest, 2 – Shchukinskiy forest park, 3 – Vorobyovy gory; ■ – recreational load, people/ha; — — — — — maximum recreational load, people/ha

Согласно МГНС предельная рекреационная нагрузка (число одновременных посетителей в среднем по объекту, чел./га) на объекты такого типа составляет не более 50 чел./га. Соответственно, прогнозируемая рекреационная нагрузка на территорию Аleshкинского леса и Щукинского лесопарка является допустимой. Рекреационная нагрузка на территорию Воробьевых гор превышает допустимую.

Таким образом, территория Воробьевых гор требует более детального и тщательного благоустройства, а также формирования вокруг данного ООПТ иных рекреационно привлекательных объектов меньших площадей для возможного перераспределения посетителей и снижения нагрузки на данную ООПТ.

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

### Библиографический список

Благоустройство «Сокольники»: Телеграмм-канал. URL: [https://t.me/ViewPark\\_Sokolniki](https://t.me/ViewPark_Sokolniki) (дата обращения: 18.11.2024).

Государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности. URL: <https://gisogd.mos.ru/> (дата обращения: 11.11.2024).

ООПТ Москвы список // Википедия. URL: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/Список\\_особо\\_охраняемых\\_природных\\_территорий\\_Москвы](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Список_особо_охраняемых_природных_территорий_Москвы) (дата обращения: 11.11.2024)

Оценка численности постоянного населения г. Москвы на 1 января 2020 года и в среднем за 2019 год по муниципальным образованиям. URL: [https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-browser%3A%2F%2F4DT1uXEPRrJR XIUFoewruGrVP SuMyGMbpmmpqjrg4fhrNjImkiAioNa7RnzBC2uCEhaYFhisA2tOACygitlGVIPfqVrAbGQcpwWOPhJg4S\\_sFTZBE0M9QN-Xw\\_7TaLd2QN9jdWpdyhiLoUTjFHeOw%3D%3D%3Fsign%3D1HqCKelGpJKA3Rwq66sHv7hgX4cJeFthz5E-0f5V5X8%3D&name=Оценка%20численности%20населения%20на%201%20января%202020%20и%20среднегодовая%20за%202019.docx&nosw=1](https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-browser%3A%2F%2F4DT1uXEPRrJR XIUFoewruGrVP SuMyGMbpmmpqjrg4fhrNjImkiAioNa7RnzBC2uCEhaYFhisA2tOACygitlGVIPfqVrAbGQcpwWOPhJg4S_sFTZBE0M9QN-Xw_7TaLd2QN9jdWpdyhiLoUTjFHeOw%3D%3D%3Fsign%3D1HqCKelGpJKA3Rwq66sHv7hgX4cJeFthz5E-0f5V5X8%3D&name=Оценка%20численности%20населения%20на%201%20января%202020%20и%20среднегодовая%20за%202019.docx&nosw=1) (дата обращения: 11.11.2024).

Сокольники Коалиция: Телеграмм-канал. URL: [https://t.me/Sokolnikin\\_coalition](https://t.me/Sokolnikin_coalition) (дата обращения: 18.11.2024).

Сохраним парк Покровское-Стрешнево. URL <https://pspark.ru/> (дата обращения: 13.11.2024).

Сохраним Строгино. URL: <https://save.strogino1979.ru/> (дата обращения: 13.11.2024).

Строгино не склоняется! URL: <https://strogino1979.ru/> (дата обращения: 13.11.2024).

### References

Improvement “Sokolniki”: Telegram channel. URL: [https://t.me/ViewPark\\_Sokolniki](https://t.me/ViewPark_Sokolniki) (accessed November 18, 2024). (In Russ.)

Let's save Strogino. URL: <https://save.strogino1979.ru/> (accessed November 13, 2024). (In Russ.)

Let's save the Pokrovskoe-Streshnevo park. URL: <https://pspark.ru/> (accessed November 13, 2024). (In Russ.)

Moscow's specially protected natural areas list. *Wikipedia*. URL: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/Список\\_особо\\_охраняемых\\_природных\\_территорий\\_Москвы](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Список_особо_охраняемых_природных_территорий_Москвы). (accessed November 11, 2024). (In Russ.)

An estimate of the permanent population of Moscow as of January 1, 2020 and the average for 2019 by municipality. URL: [https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-brows-er%3A%2F%2F4DT1uXEPRrJR XIUFoewruGrVPSuMyGMbpmmpqjrg4fhr rNjImkiAio-Na7RnzBC2uCEhaYFhisA2tOACygitlGVIPfqVrAbGQcpwWOPhJg4S\\_sFTZBE0M9QN-Xw\\_7TaLd2QN9jdWpdyhiLoUTjFHeOw%3D%3D%3Fsign%3D1HqCKelGpJKA3Rwq66sHv7hgX4cJeFthz5E-0f5V5X8%3D&name=Оценка%](https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-brows-er%3A%2F%2F4DT1uXEPRrJR XIUFoewruGrVPSuMyGMbpmmpqjrg4fhr rNjImkiAio-Na7RnzBC2uCEhaYFhisA2tOACygitlGVIPfqVrAbGQcpwWOPhJg4S_sFTZBE0M9QN-Xw_7TaLd2QN9jdWpdyhiLoUTjFHeOw%3D%3D%3Fsign%3D1HqCKelGpJKA3Rwq66sHv7hgX4cJeFthz5E-0f5V5X8%3D&name=Оценка%20)

20численности%20населения%20на%201%20января%202020%20и%20среднегод  
овая%20за%202019.docx&nosw=1. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed November  
11, 2024). (In Russ.)

Sokolniki Coalition: Telegram channel. URL: [https://t.me/Sokolniki\\_coalition](https://t.me/Sokolniki_coalition)  
(accessed November 18, 2024). (In Russ.)

State information system for supporting urban development activities. URL:  
<https://gisogd.mos.ru/> (accessed November 11, 2024). (In Russ.)

Strogino is not bowing! URL: <https://strogino1979.ru/> (accessed November 13,  
2024). (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 05.02.2025*

---

**Тебякина А.А., Изотова Т.В.** Анализ потенциальной рекреационной  
нагрузки на ООПТ Москвы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической  
академии. 2026. Вып. 257. С. 52–63. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.52-63

В статье приведена методика расчета потенциальной рекреационной  
нагрузки на ООПТ Москвы согласно МГСН 1.02-02. Проведен расчет для трех  
ООПТ Москвы – природного парка «Северное Тушино» (территория  
«Алешкинский лес»), Щукинского лесопарка и Всехсвятской роши, природного  
заказника «Воробьевы горы». Для определения потенциальной рекреационной  
нагрузки использовалась программа QGIS, при помощи которой выстраивали  
изохроны для определения транспортной доступности выбранных территорий  
(10 и 20 минут езды на автомобиле от центральной точки парка). Перечень  
ООПТ, расположенных в зоне доступности от проектируемой территории,  
составляли на основе открытых данных с использованием портала ГИС ОГД.  
Вывод о потенциальной рекреационной нагрузке на выбранные для анализа  
территории делали на основе таблицы 4.5 МГСН 1.02-02. В ходе проведенного  
исследования было установлено, что потенциальная рекреационная нагрузка на  
территорию природного заказника «Воробьевы горы» превышает допустимую.

Ключевые слова: ООПТ, рекреационная нагрузка, QGIS, Москва,  
Алешкинский лес, Воробьевы горы, Щукинский лесопарк.

**Tebiakina A.A., Izotova T.V.** Analysis of potential recreational load on  
Moscow's specially protected natural areas. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj  
Lesotehnicoskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 52–63 (in Russian with English  
summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.52-63

The article presents a methodology for calculating the potential recreational load  
on Moscow's specially protected natural areas according to MGSN 1.02-02. The  
calculation was performed for three Moscow specially protected natural areas:  
Severnoye Tushino Nature Park (Aleshkinskiy forest territory), Shchukinskiy forest  
park and Vsekhsvyatskaya grove, and Vorobyovy gory nature reserve. The potential

recreational load was determined using the QGIS program, which was used to plot isochrones to determine the transport accessibility of the selected areas (10 and 20 minutes' drive from the central point of the park). The list of specially protected natural areas located within the accessibility zone of the designed area was compiled based on open data using the GIS OGD portal. The conclusion on the potential recreational load on the areas selected for analysis was compiled based on Table 4.5 of MGSN 1.02-02. During the study, it was established that the potential recreational load on the territory of the Vorobyovy gory Nature Reserve exceeds the permissible level.

**Key words:** specially protected natural area, recreational load, QGIS, Moscow, Aleshkinskiy forest, Vorobyovy gory, Shchukinskiy forest park.

---

**ТЕБЯКИНА Анна Алексеевна** – магистрант кафедры декоративного растениеводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: frfogel96@gmail.com

**ТЕВУАКИНА Анна А.** – master's student, Department of Decorative Plant Growing, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: frfogel96@gmail.com

**ИЗОТОВА Татьяна Владимировна** – доцент кафедры декоративного растениеводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0001-8969-4792. SPIN-код: 9923-2838.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: euonimus@mail.ru

**IZOTOVA Tatyana V.** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Department of Decorative Plant Growing, St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0001-8969-4792. SPIN-code: 9923-2838.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: euonimus@mail.ru

**Н.Р. Сунгурова, А.А. Дрочкова, С.С. Макаров, С.Е. Страздаускас**

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРЕПАРАТОВ  
ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ РОСТА И РАЗВИТИЯ  
СЕЯНЦЕВ *PINUS SYLVESTRIS* L.**

*Введение.* В настоящее время выращивание посадочного материала для лесовосстановления – достаточно распространенная практика. Исследования и производственный опыт показывают, что перспективным для лесовосстановления является молодой и достаточно крупный посадочный материал (возрастом 1-2 года), который хорошо приживается и лучше противостоит заглушению травянистой растительностью. Таким требованиям отвечают сеянцы, выращенные в теплицах [Мочалов, Синников, 1977; Бабич и др., 1999; Salaš et al., 2013]. Для сокращения срока выращивания стандартного высокоэффективного посадочного материала применяют ростостимулирующие препараты, способствующие ускорению процессов, связанных с ростом и развитием растений, а также улучшению их адаптационных способностей. При использовании ростостимулирующих препаратов, которые активизируют в растении определенные синтезы протеинов, что в свою очередь приводит к увеличению темпов клеточного деления, также улучшается иммунная система растений, помогая сеянцам лучше справляться с неблагоприятными условиями среды. Применение препаратов способствует развитию корневой системы растений, что улучшает доступ к воде и питательным веществам [Попова и др., 1991; Родин, Попова, 1991; Родин и др., 1997; Сунгурова, Дрочкова, 2021; Гордеева, 2023; Рунова, Денисенко, 2024; Barber, 1972; Grossnickle, MacDonald, 2018].

Исследование влияния стимуляторов роста на качество посадочного материала имеет особое значение в практическом аспекте, так как при положительных результатах применение этих препаратов позволит изменить концепцию и систему выращивания сеянцев, от состояния и развития которых зависит дальнейший успех лесовосстановления [Иванов, 2001; Сунгурова и др., 2022; Hoffmann, 1966; Louder, 2010; Calvo et al., 2014].

На данный момент стимуляторы роста активно применяются для регулирования древесных пород, в том числе сосны обыкновенной. Однако не все из доступных препаратов обладают такими важными достоинствами,

как экономичность, экологичность и простота применения. Продолжаются поиски новых препаратов различного происхождения: микробного, химического и других, – которые эффективно действовали бы на рост и развитие посадочного материала [Острошенко, Острошенко, 2023; Пентелькин, Пентелькина, 1990; Пентелькин, 2000, 2003; Тюкавина, Демина, 2023]. Важно, чтобы стоимость производства стимуляторов роста была доступна для каждого питомника и их применение не оказывало отрицательного влияния на окружающую среду, поэтому изучение данного вопроса является актуальным.

Цель работы – изучить влияние экологически безопасных стимуляторов роста на сеянцы *Pinus sylvestris* L. в защищенном грунте.

*Материалы и методика исследований.* Исследования проводились в питомнике Вологодского селекционно-семеноводческого лесохозяйственного центра, расположенном в г. Кадников Вологодской области. Территория питомника входит в Южно-таёжный лесной район европейской части Российской Федерации. Доминирование хвойных пород в лесном районе региона исследований продиктовано климатическими и почвенными условиями, но длительное ведение хозяйственной деятельности человеком оказало сильное влияние на породный состав. Доля хвойных пород в соотношении с лиственными за последние годы заметно сократилась. Возобновление насаждений хозяйственно ценными породами является одной из главных задач лесовосстановления [Беляев, 2001].

Особенностью формирования элементов климата (температура, осадки, влажность, облачность) является влияние на них радиационных и циркуляционных процессов. Средняя зимняя температура варьирует от  $-10,0$  °C до  $-14,1$  °C. Зима в регионе характеризуется ясной, морозной погодой. Летом средняя температура воздуха меняется в пределах от  $+16,4$  °C до  $+17,5$  °C. Благодаря влиянию морских воздушных масс климатические условия смягчаются [Антипов, 1957; Агроклиматические..., 1972]. Вегетация растений начинается приблизительно 22-27 апреля, а завершается с 30 сентября по 6 октября и имеет продолжительность от 150 до 164 дней [Авдошенко, 1980; Климат..., 2001]. Массовые всходы сосны появляются при температуре от  $+18$  до  $+30$  °C, которая должна держаться 118-134 ч [Мочалов и др., 1991].

Методика полевых исследований представляла собой комплексный подход с использованием эксперимента, сравнения и анализа. При изучении биометрических показателей сеянцев пользовались общепринятыми методами.

Выращивание сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) выполнялось в теплицах площадью  $100$  м<sup>2</sup> (рис. 1).



Рис. 1. Выращивание сеянцев в защищенном грунте  
Fig. 1. Growing of seedlings in protected soil

Перед посевом семена замачивали в стимуляторах роста на 24 ч. Такая продолжительность замачивания установлена нами в лабораторных условиях и является оптимальной [Егорова, Бабич, 2012; Дрочкова, 2017, 2020]. В качестве стимуляторов всхожести семян и активации роста сеянцев *Pinus sylvestris* в наших исследованиях использованы: технические лигносульфонаты (хлорированный и нитрозированный) 10%-ной концентрации; экстракт луба березы (фракция менее 1 мм и фракция более 1 мм) концентрацией 1:10000; фильтрат, полученный при выделении суберина из бересты, концентрацией 1:10000; «Флавобактерин»; «Мизорин»; конденсат, образующийся при сушке пиломатериалов (без разбавления); пепел вулкана Эйяфьядлайёкюдль (концентрация 1:8). Последний собран после извержения вулкана для проведения нашего эксперимента [Дрочкова, 2021]. Имеются сведения, что на юге Исландии на землях, пострадавших от извержения, наблюдается чрезвычайно хороший рост травянистых и зерновых культур. Вулканический пепел оказывает положительное влияние на рост растений из-за высокой концентрации питательных веществ и минералов, особенно железа. Установлено, что на поверхности свеживыпавших пепловых частиц сорбируется большое количество фосфатов, реже калия, которые, вероятно, и вызывают повышение урожайности, что говорит о нали-

чий ростостимулирующих свойств пепла [Louder, 2010]. Кроме стимулирующего рост и развитие растений эффекта у вулканического пепла существуют другие преимущества – экологичность и отсутствие затрат на производство сырья. Выбор веществ, используемых в опытах, основывался на их биологически активном составе и использовании некоторых из них в качестве стимуляторов роста для сельскохозяйственных культур. Также принимались во внимание простота использования, безопасное воздействие на окружающую среду и экономически выгодное производство или приобретение вещества. Экологическую безопасность и влияние технических лигносульфонатов, используемых в нашем исследовании, оценивали на жизнедеятельности почвенных организмов. В качестве объекта воздействия выбраны дождевые черви рода *Allolobophora*.

В качестве контроля высевались сухие семена без предварительной подготовки к посеву. Посевы семян сосны проводили на свежем фрезерованном торфе переходного типа с рН 5, без внесения извести. Высота гряд составляла 15 см. На одном квадратном метре гряды посев каждого варианта выполняли в десятикратной повторности, размер варианта составлял 1 м<sup>2</sup>. Определение количества всходов происходило на 5-й, 7-й, 10-й, 15-й день выращивания сеянцев. В конце вегетационного периода производили сплошной учёт всходов.

Биометрические показатели сеянцев (высота, диаметр шейки корня, длина стволика и корней) определяли после завершения учета всходов, в конце эксперимента. Высоту растения и длину корневой системы измеряли линейкой, диаметр у шейки корня – штангенциркулем. Массу растений определяли на электронных весах. Перед взвешиванием у каждого растения отделяли корни от субстрата, промывали, затем хлопчатобумажной тканью удаляли капли воды с растений.

*Результаты исследований.* Микроклимат теплиц отличается от условий открытого грунта. Полиэтиленовая плёнка защищает сеянцы от ветра, не нарушая естественную циркуляцию воздуха. Температура воздуха и почвы, освещенность представляют главные микроклиматические характеристики теплицы [Игаунис, 1974].

Регулирование температуры и относительной влажности в теплицах представляет собой ключевой аспект современного лесного хозяйства, особенно когда речь идет о производстве сеянцев растений. Внутренняя среда теплицы значительно отличается от условий открытого грунта, что обусловлено множеством факторов, таких как солнечное освещение, возможность регулирования водного режима и вентиляция. Температура

и влажность воздуха в различные часы дня и ночи значительно варьируют. Как было упомянуто в исследованиях различных авторов [Синников и др., 1986; Мочалов, 1999; Пентелькина, 2012; Rikala, 2000; Davis, Jacobs, 2005; Grossnickle, 2012; Shchukin et al., 2020], температура в теплице может меняться в зависимости от метеорологических условий. В солнечные дни температура воздуха в теплице может превышать температуру открытого грунта на 10 °С, что позволяет создать более теплые условия для роста растений. Пассивное солнечное отопление теплиц дает возможность увеличить эффективность фотосинтеза, а, значит, и общий рост растений. В пасмурные дни разница составляет всего 5 °С, а в холодные – 2 °С, но это все равно создает благоприятные условия, которые эффективнее защищают растения от резких температурных колебаний. Кроме того, благодаря особенностям конструкции теплиц можно добиться оптимального микроклимата, что включает не только поддержание необходимой температуры, но и контроль за уровнем влажности и углекислого газа. Высокая относительная влажность способствует лучшему усвоению воды растениями, а повышенное содержание углекислого газа служит дополнительной стимуляцией для роста. Все это в итоге способствует удлинению вегетационного периода, что особенно важно в условиях нашей климатической зоны, где возможность заморозков значительно ограничивает сроки выращивания растений. Практическое применение теплиц можно рассматривать в контексте сокращения сроков выращивания сеянцев, экономии семян, увеличения выхода сеянцев с единицы площади и получения высококачественных сеянцев, обладающих высокой адаптивной способностью при создании лесных культур.

Проведение измерений температуры почвы и воздуха в следующие временные промежутки – 9, 13 и 17 ч – представляет собой важный этап в анализе микроклиматических условий теплицы. Такой подход позволяет получить более полное представление о температурных колебаниях в течение дня, что в свою очередь может оказать значительное влияние на физиологические процессы роста и развития растений (рис. 2).

Температура воздуха на высоте 10 см от поверхности почвы дает представление об общих климатических условиях в теплице, которые отличаются от температурных значений, зарегистрированных на уровне корней. Измерение температуры почвы на глубине 10 см предоставляет важную информацию о термическом режиме зоны корневой системы растений, что позволяет оценить, насколько эффективно корни усваивают влагу и питательные вещества.

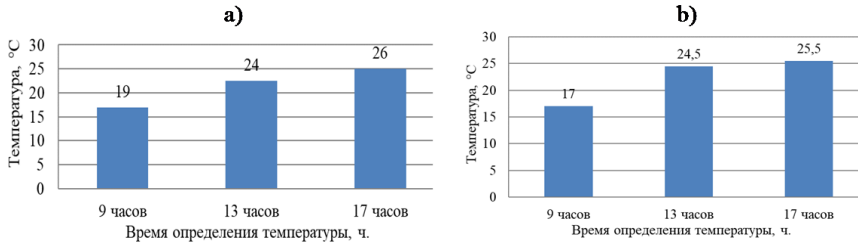


Рис. 2. Средняя температура (°С) в теплице за период с мая по август:  
а) воздуха на высоте 10 см от поверхности почвы; б) почвы на глубине 10 см

Fig. 2. Average temperature (°C) in the greenhouse for May-August:  
а) air at a height of 10 cm from the soil surface; б) soil at a depth of 10 cm

В утренние часы, в частности, в 9 ч температура почвы ниже, так как она не успела прогреться под воздействием солнечного света. Это может спровоцировать замедление процессов усвоения воды растениями. Днем, в 13 ч температура как почвы, так и воздуха повышается, что способствует активизации фотосинтетических процессов. Однако если температура воздуха становится слишком высокой, это негативно сказывается на здоровье растений, вызывая стресс и даже ожоги. В 17 ч наблюдается тенденция к падению температуры, особенно если небо начинает затягиваться облаками или в случае сильного ветра. Понижение температуры может быть благоприятным для вечернего роста растений.

Исследованиями установлено, что в защищенном грунте средняя температура воздуха варьировала от +19 до +26 °С, а почвы – от +17 до +25,5 °С в дневные часы в период с мая по август.

Изучена динамика прорастания обработанных биологически активными веществами семян сосны обыкновенной в теплицах на 5-й, 7-й, 10-й, 15-й день. Опыты заложены в 10-кратной повторности.

На 5-й день после посева семян в теплице происходил процесс активного набухания семян и выделения экзогенных фитогормонов, которые способствовали запуску метаболических процессов. С 7-го дня количество проросших семян увеличилось до 30–40%, что свидетельствует об активной стадии метаболизма. Параллельно происходил синтез хлорофилла в семядолях. К 10–15-му дню выращивания лучшие результаты (72–98% проростков) показали всходы семян, обработанных растворами хлорированного (рис. 3) и нитрозированного (рис. 4) лигносульфонатов.

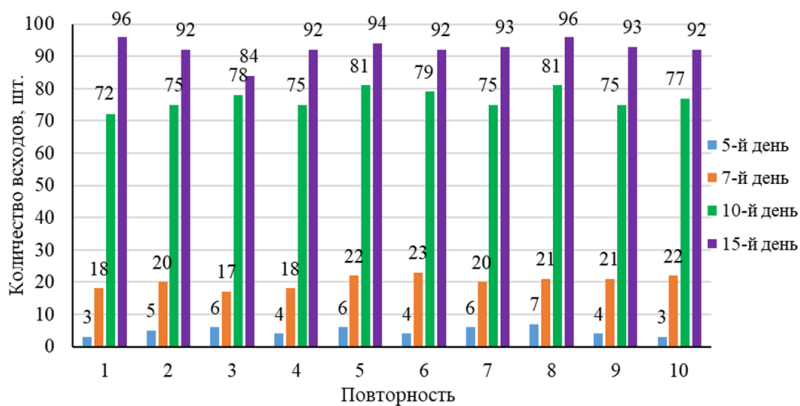


Рис. 3. Динамика прорастания семян сосны обыкновенной, обработанных хлорированным лигносульфонатом  
 Fig. 3. Dynamics of germination of *Pinus sylvestris* seeds treated with chlorinated lignosulfonate

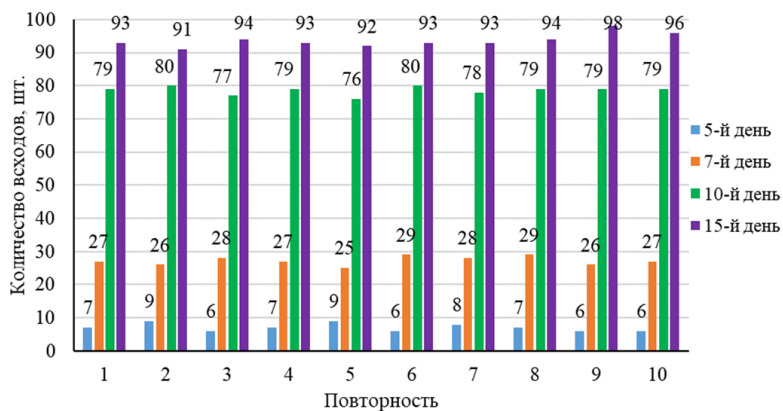


Рис. 4. Динамика прорастания семян сосны обыкновенной, обработанных нитрозированным лигносульфонатом  
 Fig. 4. Germination dynamics of *Pinus sylvestris* seeds treated with nitrosated lignosulfonate

В этот момент происходило завершение стадии эмбрионального развития и переход к вегетативному росту. Всходы семян, обработанных растворами фильтра от выделения суберина из бересты, конденсата от сушки древесины, пепла вулкана Эйяфьядлайёкюдль, «Мизорина» и «Флавобактерина», на

15-й день после посева по сравнению с контрольным вариантом (рис. 5) преваляют в 1,5 раза. В этот период наблюдалась адаптация семян к условиям закрытого грунта, которая в случае с предварительно замоченными семенами в препаратах проходила с наилучшими результатами, что способствовало положительной динамике их дальнейшего роста и развития.

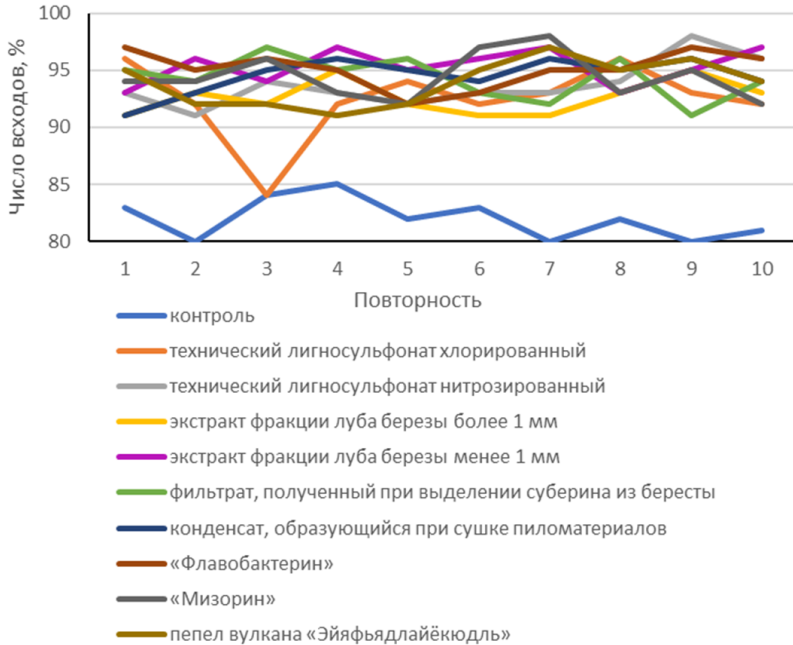


Рис. 5. Динамика прорастания обработанных стимуляторами роста семян сосны обыкновенной (%) по повторностям

Fig. 5. Dynamics of germination of *Pinus sylvestris* seeds treated with growth stimulators (%) by repetition

Исследование влияния различных препаратов на семена сосны обыкновенной имеет большое значение для лесного хозяйства, так как показатели роста растений (табл. 1) служат индикаторами их здоровья и жизнеспособности. Высота сеянцев, диаметр шейки корня, длина корней и их состояние — это ключевые биометрические параметры, позволяющие оценить как адаптацию растений к окружающей среде, так и эффективность применяемых технологий по выращиванию посадочного материала.

Высота сеянцев является одним из основных показателей их роста и развития. Чем выше сеянец, тем лучше его потенциал для фотосинтетической активности, что, в свою очередь, сказывается на общей жизнеспособности растения. Диаметр шейки корня является индикатором устойчивости растения к условиям окружающей среды. Посадочный материал с наибольшим диаметром шейки корня характеризуется лучшей способностью к аккумуляции питательных веществ и воды, что особенно актуально в условиях стресса при пересадке его на лесокультурную площадь, при ином режиме влажности и питания.

Таблица 1

**Средние биометрические показатели однолетних сеянцев, выращенных с применением исследуемых веществ**

**Average biometric indicators of annual seedlings grown with the use of the studied substances**

Высота, см	Диаметр шейки корня, мм	Длина корней, см	Масса 100 сеянцев в абсолютно сухом состоянии, г			Выход стандартных сеянцев, %
			наземная часть	корни	всего	
Контроль						
8,1±0,13	1,5±0,30	11,1±0,10	9,0±0,14	9,1±0,50	19,1	40
Лигносульфонат нитрозированный						
12,0±0,15	2,2±0,24	17,1±0,33	14,5±0,33	14,5±0,44	29,0	98
Лигносульфонат хлорированный						
12,3±0,32	2,2±0,30	17,8±0,26	15,1±0,40	15,6±0,11	30,7	99
Экстракт фракции луба березы менее 1 мм						
11,7±0,25	2,2±0,25	17,2±0,34	19,3±0,20	14,3±0,18	29,6	96
Экстракт фракции луба березы более 1 мм						
10,3±0,35	2,2±0,35	13,8±0,22	12,3±0,19	8,8±0,22	18,9	61
Фильтрат от выделения суберина из бересты						
10,9±0,20	2,2±0,34	15,8±0,22	18,2±0,11	10,0±0,30	27,1	65
Конденсат, образующийся при сушке пиломатериалов						
11,8±0,24	2,1±0,27	17,1±0,35	13,7±0,30	13,0±0,21	26,7	96
Флавобактерин						
12,2±0,15	2,2±0,25	17,9±0,26	15,4±0,70	15,6±0,93	31,0	99
Мизорин						
12,2±0,23	2,0±0,31	16,3±0,21	14,3±0,21	16,7±0,77	31,0	99
Пепел вулкана Эйяфьядлайёкюдль						
11,4±0,30	2,2±0,21	15,3±0,32	17,5±0,05	16,5±0,16	34,0	96

Исследования показали, что наибольшая средняя высота ( $12,30 \pm 0,32$  см) наблюдается у сеянцев, обработанных раствором хлорированных лигносульфонатов; максимальный средний диаметр ( $2,19 \pm 0,25$  мм) и длина корней ( $17,90 \pm 0,26$  см) зафиксированы у особей сосны, обработанных «Флавобактерином». Как известно из Правил лесовосстановления<sup>1</sup>, в Южно-таежном районе европейской части РФ стандартными сеянцами являются 2-летние растения сосны обыкновенной с высотой стволика не менее 12 см и диаметром у корневой шейки не менее 2,5 мм.

Средняя масса растений является важным индикатором их устойчивости к различным стрессовым факторам, включая конкуренцию с травянистой растительностью. На основании исследований [Родин, 1977; Пигарев и др., 1987] можно сделать вывод, что крупный посадочный материал, обладающий оптимальным соотношением массы корней и надземной части, демонстрирует значительно более высокую выживаемость и устойчивость на вырубках.

Более крупные молодые растения имеют развитую корневую систему, что позволяет им более эффективно извлекать влагу и питательные вещества из почвы. Хорошо сбалансированное соотношение между корнями и надземной частью не только способствует повышению общей биомассы, но и улучшает устойчивость растений к заглушению. В условиях жесткой конкуренции за свет, воду и питательные вещества именно такие растения имеют больше шансов на успешное развитие и адаптацию.

Оптимальное соотношение массы корней к надземной части позволяет сеянцам сосны развивать не только сильные корни, но и хорошо сформированную крону. Это, в свою очередь, улучшает фотосинтетическую активность и общую продуктивность растений. Когда корневая система хорошо развита, растение получает возможность обеспечивать себя необходимыми ресурсами даже в условиях дефицита, что является важным аспектом успешного роста и жизнеспособности.

Таким образом, выбор крупного посадочного материала с правильным соотношением массы корней и надземной части не только способствует укреплению сеянцев в условиях конкуренции, но и повышает их шансы на выживание в сложных экосистемах, таких как вырубки. Это означает, что при планировании лесовосстановительных мероприятий целесообразно

---

<sup>1</sup> Правила лесовосстановления, состав проекта лесовосстановления, порядок разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений. Утверждены приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 декабря 2021 г. № 1024.

делать акцент на отбор тех семян, которые способны продемонстрировать наилучшие результаты в условиях ограниченной среды.

В наших исследованиях наибольшей массой обладают растения, семена которых были обработаны «Флавобактерином», «Мизорином» и пеплом вулкана Эйяфьядлайёкюдль. Применение этих препаратов спровоцировало рост более мощной корневой системы. Также выход стандартных семян повысился до 96–99% при использовании лигносульфонатов, экстрактов фракции луба березы менее 1 мм, растворов конденсата, «Мизорина», «Флавобактерина» и пепла вулкана Эйяфьядлайёкюдль, в то время как на контрольной площади этот показатель составил всего 40%.

При использовании «Мизорина» и «Флавобактерина» можно заметно повысить выживаемость и общее развитие семян сосны. Азотфиксирующие бактерии, обеспечивая растения важными питательными веществами, способствуют не только ускорению роста, но и укреплению их иммунной системы, что делает их более устойчивыми к неблагоприятным условиям – конкуренции, недостатку воды и питательных веществ, а также различным заболеваниям. Это особенно важно в современных условиях, когда изменение климата и антропогенные факторы влияют на состояние экосистем. По этой причине рекомендуется применять «Мизорин» и «Флавобактерин» не только в случае сосны обыкновенной, но и при восстановлении других древесных пород, чтобы повысить общую эффективность лесовосстановительных мероприятий и обеспечить их устойчивость в долгосрочной перспективе.

Препараты «Мизорин» и «Флавобактерин» показали ростостимулирующий эффект на семенах сосны обыкновенной благодаря содержанию в них азотофиксирующих бактерий.

Улучшение всех перечисленных параметров может значительно снизить влияние стресса на семена сосны и повысить их выживаемость. Это также открывает новые возможности для планирования мероприятий по улучшению условий роста, в том числе выбора оптимальных агротехнических приемов и корректировки системы удобрений. Внимание к исследованиям в этой области способствует созданию более устойчивых лесных экосистем, что представляет собой стратегически важную задачу для устойчивого управления лесными ресурсами и охраны окружающей среды.

*Заключение.* В настоящее время существует огромный спектр различных по происхождению веществ, стимулирующих рост и развитие посадочного материала древесных пород. Всходы семян, обработанных растворами фильтрата от выделения суберина из бересты, конденсата от сушки древе-

сины, пепла вулкана Эйяфьядлайёкюдль, «Мизорина» и «Флавобактерина» на 15-й день после посева по сравнению с контрольным вариантом превалируют в 1,5 раза. В этот период наблюдалась адаптация сеянцев к условиям закрытого грунта, которая в случае с предварительно замоченными в препаратах семенами проходила с наилучшими результатами, что способствовало положительной динамике их дальнейшего роста и развития.

При соблюдении рекомендованных методов использования стимуляторов период выращивания стандартных сеянцев сокращается до одного года и исключается необходимость дорастивания сеянцев в течение двух лет, как требуют нормативные документы, что позволяет существенно снизить затраты на производство посадочного материала. Дополнительный выход стандартных сеянцев с одного гектара может составлять от 10 до 20% (120–240 тыс. шт.). На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что технические лигносульфонаты, экстракт луба березы, фильтрат, полученный при выделении суберина из бересты, «Флавобактерин», «Мизорин», конденсат, образующийся при сушке пиломатериалов, пепел вулкана Эйяфьядлайёкюдль положительно влияют на рост и развитие посадочного материала древесных пород.

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

### Библиографический список

- Авдошенко А.К. Сезонная ритмика природы г. Вологды (рукопись). Вологда, 1980. 85 с.
- Агроклиматические ресурсы Вологодской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 185 с.
- Антипов Н.П. Климат // Природа Вологодской области. Вологда, 1957. С. 111–135.
- Бабич Н.А., Барабин А.И., Тутыгин Г.С. Состояние и проблемы лесовосстановления на Европейском Севере // Сб. науч. тр. Архангельск, 1999. С. 4–12.
- Беляев В.В. Состояние и основные направления повышения эффективности лесовосстановления на Европейском Севере России // Вестник Поморского ун-та. 2001. Вып. 2. С. 45–50.
- Гордеева Д.В. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2023. № 1. С. 188–191. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/8.
- Дрочкова А.А. Анализ влияния лигносульфонатов на всхожесть и энергию прорастания семян *Pinus sylvestris* L. // Папанинские чтения: ст. уч. междунар. молодеж. науч. конф. Архангельск, 2017. С. 52–55.

Дрочкова А.А. Анализ воздействия конденсата, образующегося при сушке пиломатериалов, на всхожесть и энергию прорастания семян *Pinus sylvestris* L. // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: матер. XVIII Междунар. науч.-тех. конф. Вологда, 2020. С. 31–32.

Дрочкова А.А. Анализ влияния пепла вулкана «Эйяфьядлайёкюдль» на основные показатели качества семян *Pinus sylvestris* L. // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XLIV Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2021. С. 137–139.

Егорова А.А., Бабич Н.А. Влияние «Флавобактрина» на всхожесть и энергию прорастания семян сосны обыкновенной // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. 2012. Вып. 15. С. 89–91.

Иванов В.П. Длительная стимуляция роста как эффект повышения устойчивости сосны обыкновенной под воздействием ПАБК // Лесной журнал. 2001. № 5-6. С. 192–195.

Игаунис Г.А. Выращивание посадочного материала в теплицах с синтетическим покрытием. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 236 с.

Климат России. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 654 с.

Мочалов Б.А. Развитие лесопитомнического дела на севере России // Наука – лесному хозяйству Севера. Архангельск, 1999. С. 56-60.

Мочалов Б.А., Синников А.С. Рекомендации по выращиванию посадочного материала хвойных пород в полиэтиленовых теплицах. Архангельск, 1977. 12 с.

Мочалов Б.А., Кресцова В.П., Дранникова В.А., Мочалова Г.А., Чечуева Т.А. Выращивание селекционного улучшенного посадочного материала в теплицах // Материалы отчетной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1990. Архангельск, 1991. С. 16–18.

Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. № 4(394). С. 93–104. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-93-104.

Пентелькин С.К. Использование безопасных химических средств при выращивании сеянцев сосны // Лесохозяйственная информация. 2000. С. 16–19.

Пентелькин С.К. Итоги изучения стимуляторов роста и полимеров в лесном хозяйстве за последние 20 лет // Лесохозяйственная информация. 2003. № 10. С. 34-53.

Пентелькина Н.В. Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 31. С. 189-193.

Пентелькин С.К., Пентелькина Н.В. Изучение возможности использования новых регуляторов роста при выращивании сеянцев хвойных пород // Совершенствование научного обеспечения лесохозяйственного производства: тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и спец. отрасли. Пушкино, 1990. 93 с.

Пигарев Ф.Т., Беляев В.В., Сунгуров Р.В. Комплексная оценка качества посадочного материала и его применение на Европейском Севере: метод. указания. Архангельск, 1987. 16 с.

Попова Н.Я., Родин А.Р., Шарамко Д.В. Проблемы и перспективы использования регуляторов роста в лесных питомниках // Сб. науч. тр. МЛТИ. 1991. Вып. 245. С 12–16.

Родин А.Р. Культуры ели на вырубках. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 169 с.

Родин А.Р., Попова Н.Я. Перспективы использования экологически чистых препаратов в лесных питомниках // Лесной журнал. 1991 № 6. С. 12–16.

Родин А.Р., Попова Н.Я., Кандыба Е.В. Высокоэффективные препараты для питомников // Лесное хозяйство. №1. 1997. С. 28-30.

Рунова Е.М., Денисенко А.В. Влияние ростогенерирующих препаратов на показатели прорастания семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2024. № 65. С. 125–128.

Синников А.С., Мочалов Б.А., Драчков В.Н. Выращивание сеянцев хвойных пород в полиэтиленовых теплицах. М.: Агропромиздат, 1986. 125 с.

Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А. Биометрические характеристики посадочного материала как тест-показатель успешности культур *Pinus sylvestris* L. // ИВУЗ. Лесной журнал. 2021. № 4. С. 107–116. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-107-116.

Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А., Гаевский Н.П., Вольхина Н.В., Бабич Н.А. Конденсат сушки древесины как активатор энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 4. С. 39-45. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-39-45.

Тюкавина О.Н., Демина Н.А. Биологически активные препараты для стимуляции роста сеянцев хвойных // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2023. № 1(70). С. 122–133. DOI: 10.34655/bgsha.2023.70.1.015.

Barber J.J. Recent advances in planting technigines // Forest Farmer. 1972. Vol. 32. 26 p.

Davis A.S., Jacobs D.F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance // New Forests. 2005. Vol. 30. P. 295–311. DOI: 10.1007/s11056-005-7480-y.

Grossnickle S.C. Why seedlings survive: influence of plant attributes // New Forests. 2012. Vol. 43. P. 711–738. DOI: 10.1007/s11056-012-9336-6.

Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Why seedlings grow: influence of plant attributes // New Forests. 2018. Vol. 49. P. 1–34. DOI: 10.1007/s11056-017-9606-4.

Hoffmann F. Untersuchungen zur Stickstoffernährung junger Koniferen // Archiv für Forstwesen. 1966. B. 10. S. 1093-1103.

Louder R. Volcanic ash may be helping vegetation growth. Reykjavik: Grapevine, 2010. 24 p.

Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // Plant and Soil. 2014. Vol. 383, iss. 1-2. P. 3–41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8.

Rikala R. Seedling production for reforestation // Forest regeneration in the Northern Parts of Europe: proceeding of the Finnish-Russian Forest Regeneration Seminar. Vuokatti, 2000. P. 127-140.

Salaš P., Sasková H., Mokričková J., Litschmann T. Evaluation of Different Types of Rooting Stimulators // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013. Vol. 60, no. 8. P. 217–228. DOI: 10.11118/actaun201260080217.

Shchukin R.A., Bogdanov O.E., Zavaloka I.P., Ryazanov G.S., Kruglov N.M. Biotechnological Basis for Application of Growth Regulators for Rooting of Green Cuttings of Trees and Shrubs in a Greenhouse with a Misting System // *BIO Web of Conferences*. 2020. Vol. 23. Art. no. 01009. DOI: 10.1051/bioconf/20202301009.

## References

Agro-climatic resources of the Vologda region. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1972. 185 p. (In Russ.)

Antipov N.P. Climate. *Nature of the Vologda region*. Vologda, 1957, pp. 111–135. (In Russ.)

Avdoshenko A.K. Seasonal rhythmicity of Vologda nature: manuscript. Vologda, 1980. 85 p. (In Russ.)

Babich N.A., Barabin A.I., Tutygin G.S. The state and problems of reforestation in the European North. *Collection of scientific papers*. Arkhangelsk, 1999, pp. 4–12. (In Russ.)

Barber J.J. Recent advances in planting techniques. *Forest Farmer*, 1972, vol. 32, 26 p.

Belyaev V.V. The state and main directions of increasing the efficiency of reforestation in the European North of Russia. *Bulletin of the Pomor University*, 2001, iss. 2, pp. 45–50. (In Russ.)

Calvo P., Nelson L., Klopper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 2014, vol. 383, iss. 1–2, pp. 3–41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8.

Climate of Russia. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2001. 654 p. (In Russ.)

Davis A.S., Jacobs D.F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*, 2005, vol. 30, pp. 295–311. DOI: 10.1007/s11056-005-7480-y.

Drochkova A.A. Analysis of the effect of lignosulfonates on germination and germination energy of *Pinus sylvestris* L. seeds. *Papanin readings: articles by participants of the int. youth sci. conf.* Arkhangelsk, 2017, pp. 52–55. (In Russ.)

Drochkova A.A. Analysis of the effects of condensate formed during the drying of lumber on the germination and germination energy of *Pinus sylvestris* L. seeds. *Actual problems of the development of the forest complex: proceedings of the XVIII int. sci.-tech. conf.* Vologda, 2020, pp. 31–32. (In Russ.)

Drochkova A.A. Analysis of the influence of the ash of the Eyjafjallajökull volcano on the main quality indicators of *Pinus sylvestris* L. seeds. *Fundamental and applied scientific research: current issues, achievements and innovations: collection of articles of the XLIV int. sci.-pract. conf.* Penza, 2021, pp. 137–139. (In Russ.)

Egorova A.A., Babich N.A. The effect of Flavobacterin on germination and germination energy of pine seeds. *Ecological problems of the Arctic and Northern*

*territories*: an interuniversity collection of scientific papers, 2012, iss. 15, pp. 89–91. (In Russ.)

Gordeeva D.V. The effectiveness of growth stimulants in the cultivation of seedlings of Scots pine with a closed root system. *Engineering personnel is the future of Russia's innovative economy*, 2023, no. 1, pp. 188–191. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/8. (In Russ.)

Grossnickle S.C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 2012, vol. 43, pp. 711–738. DOI: 10.1007/s11056-012-9336-6.

Grossnickle S.C., MacDonald J.E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests*, 2018, vol. 49, pp. 1–34. DOI: 10.1007/s11056-017-9606-4.

Hoffmann F. Untersuchungen zur Stickstoffernährung junger Koniferen. *Archiv für Forstwesen*, 1966, b. 10, ss. 1093–1103.

Igaunis G.A. Cultivation of planting material in greenhouses with synthetic coating. Moscow: Lesn. prom-st', 1974. 236 p. (In Russ.)

Ivanov V.P. Long-term growth stimulation as an effect of increasing the stability of Scots pine under the influence of PABA. *Russian forestry journal*, 2001, no. 5-6, pp. 192–195. (In Russ.)

Louder R. Volcanic ash may be helping vegetation growth. Reykjavik: Grapevine, 2010. 24 p.

Mochalov B.A. Development of forestry in the north of Russia. *Science – to the forestry of the North*. Arkhangelsk, 1999, pp. 56–60. (In Russ.)

Mochalov B.A., Sinnikov A.C. Recommendations for the cultivation of coniferous planting material in polyethylene greenhouses. Arkhangelsk, 1977. 12 p. (In Russ.)

Mochalov B.A., Krestsova V.P., Drannikova V.A., Mochalova G.A., Chechueva T.A. Cultivation of breeding improved planting material in greenhouses. *Materials of the reporting session on the results of scientific research for 1990*. Arkhangelsk, 1991, pp. 16–18. (In Russ.)

Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. The effect of stimulants on seed germination and the growth of seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *BHEI. Russian forestry journal*, 2023, no. 4(394), pp. 93–104. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-93-104. (In Russ.)

Pentelkin S.K. The use of safe chemicals in the cultivation of pine seedlings. *Forestry information*, 2000, pp. 16–19. (In Russ.)

Pentelkin S.K. Results of the study of growth stimulators and polymers in forestry over the past 20 years. *Forestry information*, 2003, no. 10, pp. 34–53. (In Russ.)

Pentelkina N.V. Problems of growing planting material in forest nurseries and ways to solve them. *Actual problems of the forest complex*, 2012, no. 31, pp. 189–193. (In Russ.)

Pentelkin S.K., Pentelkina N.V. Studying the possibility of using new growth regulators in the cultivation of coniferous seedlings. *Improving scientific support for forestry production*: tez. dokl. the All-Union sci.-pract. conf. of young scientists, graduate students and specialists of the branch. Pushkino, 1990, 93 p. (In Russ.)

Pigarev F.T., Belyaev V.V., Sungurov R.V. Comprehensive assessment of the quality of planting material and its application in the European North: method. guidelines. Arkhangelsk, 1987. 16 p. (In Russ.)

Popova N.Ya., Rodin A.R., Sharamko D.V. Problems and prospects of using growth regulators in forest nurseries. *Collection of sci. works of MLTI*, 1991, iss. 245, pp. 12-16. (In Russ.)

Rikala R. Seedling production for reforestation. *Forest regeneration in the Northern Parts of Europe: proceedings of the Finnish-Russian Forest Regeneration Seminar*. Vuokatti, 2000, pp. 127-140.

Rodin A.R. Spruce crops in logging areas. Moscow: Lesn. pro-'st, 1977. 169 p. (In Russ.)

Rodin A.R., Popova N.Ya. Prospects of using environmentally friendly preparations in forest nurseries. *Russian forestry journal*, 1991, no. 6, pp. 12-16. (In Russ.)

Rodin A.R., Popova N.Ya., Kandyba E.V. Highly effective preparations for nurseries. *Forestry*, 1997, no. 1, pp. 28-30. (In Russ.)

Runova E.M., Denisenko A.V. The effect of growth-generating drugs on the germination of seeds of the common pine (*Pinus sylvestris* L.). *Actual problems of the forest complex*, 2024, no. 65, pp. 125-128. (In Russ.)

Salaš P., Sasková H., Mokříčková J., Litschmann T. Evaluation of Different Types of Rooting Stimulators. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2013, vol. 60, no. 8, pp. 217-228. DOI: 10.11118/actaun201260080217.

Shchukin R.A., Bogdanov O.E., Zavaloka I.P., Ryazanov G.S., Kruglov N.M. Biotechnological Basis for Application of Growth Regulators for Rooting of Green Cuttings of Trees and Shrubs in a Greenhouse with a Misting System. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 23, art. no. 01009. DOI: 10.1051/bioconf/20202301009.

Sinnikov A.S., Mochalov B.A., Drachkov V.N. Cultivation of coniferous seedlings in polyethylene greenhouses. Moscow: Agropromizdat, 1986. 125 p. (In Russ.)

Sungurova N.R., Drochkova A.A. Biometric characteristics of planting material as a test indicator of the success of *Pinus sylvestris* L. crops. *BHEI. Russian forestry journal*, 2021, no. 4, pp. 107–116. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-4-107-116. (In Russ.)

Sungurova N.R., Drochkova A.A., Gayevsky N.P., Volykhina N.V., Babich N.A. Wood drying condensate as an activator of germination and germination energy of *Pinus sylvestris* L. pine seeds. *Lesnoy vestnik*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 39–45. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-39-45. (In Russ.)

Tyukavina O.N., Demina N.A. Biologically active preparations for stimulating the growth of coniferous seedlings. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*, 2023, no. 1(70), pp. 122–133. DOI: 10.34655/bgsha.2023.70.1.015. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 06.02.2025

**Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А., Макаров С.С., Страздаускас С.Е.** Применение экологически безопасных препаратов для стимуляции роста и развития семян *Pinus sylvestris* L. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 64–83. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.64-83

Исследование влияния стимуляторов роста на качество посадочного материала для целей лесовосстановления имеет важное значение в практическом аспекте. Ростостимулирующие препараты способствуют ускорению процессов, связанных с ростом и развитием растений, а также улучшению их адаптации к факторам внешней среды. Исследования проводились в защищенном грунте питомника Вологодского селекционно-семеноводческого лесохозяйственного центра, расположенного в г. Кадников Вологодской области. В качестве стимуляторов всхожести семян и активации роста семян *Pinus sylvestris* использовались технические лигносульфонаты (хлорированный и нитрозированный) 10%-й концентрации; экстракт луба березы (фракция менее 1 мм и фракция более 1 мм) концентрацией 1:10000; фильтрат, полученный при выделении суберина из бересты, концентрацией 1:10000; «Флавобактерин»; «Мизорин»; конденсат, образующийся при сушке пиломатериалов; пепел вулкана Эйяфьядлайёкюдль. Установлено, что к 10–15-му дню выращивания лучшие результаты показали всходы семян, обработанных растворами хлорированного и нитрозированного лигносульфонатов – 70–94% проростков. Всходы семян, обработанных растворами фильтрата от выделения суберина из бересты, конденсата от сушки древесины, пепла вулкана Эйяфьядлайёкюдль, «Мизорина» и «Флавобактерина» на 15-й день после посева по сравнению с контрольным вариантом превалируют в 1,5 раза. Отмечено, что наибольшая средняя высота ( $12,30 \pm 0,32$  см) наблюдается у семян, обработанных раствором хлорированных лигносульфонатов; максимальный средний диаметр ( $2,19 \pm 0,25$  мм) и длина корней ( $17,90 \pm 0,26$  см) зафиксированы у особой сосны, обработанных «Флавобактерином». Выявлено, что выход стандартных семян повысился до 96-99% при использовании лигносульфонатов, экстрактов фракции луба березы менее 1 мм, растворов конденсата, «Мизорина», «Флавобактерина» и пепла вулкана Эйяфьядлайёкюдль, в то время как на контрольной площади этот показатель составил всего 40%. При соблюдении рекомендованных методов использования стимуляторов исключается необходимость доращивания семян, что позволяет существенно снизить затраты на производство посадочного материала.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, семена, сеянцы, ростостимулирующие препараты, защищенный грунт.

**Sungurova N.R., Drochkova A.A., Makarov S.S., Strazdauskas S.E.** The use of environmentally friendly preparations to stimulate the growth and development of *Pinus sylvestris* L. seedlings. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 64–83 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.64-83

The study of the effect of growth stimulants on the quality of planting material for reforestation purposes has great practical importance. Growth-stimulating drugs help accelerate the processes associated with the growth and development of plants, as well as improve their adaptation to environmental factors. The research was carried out in the protected soil of the Vologda Breeding and Seed Forestry Center nursery, located in Kadnikov, Vologda region. As stimulators of seed germination and activation of seedlings of *Pinus sylvestris* L. technical lignosulfonates (chlorinated and nitrosated) of 10% concentration; birch bark extract (fraction less than 1 mm and fraction more than 1 mm) with a concentration of 1:10000; filtrate obtained by separating suberin from birch bark with a concentration of 1:10000; “Flavobacterin”; “Mizorin”; condensate formed during drying of lumber; the ashes of Ejjafyadlajyokyudl volcano were used. It was found that by 10-15th day of cultivation, the best results were shown by seedlings of seeds treated with chlorinated and nitrosated lignosulfonate solutions (70-94% of seedlings). Seedlings of seeds treated with filtrate solutions from the release of suberin from birch bark, condensate from drying wood, ash from the Ejjafyadlajyokyudl volcano, “Mizorin” and “Flavobacterin” prevail 1.5 times on the 15th day after sowing compared with the control variant. It was noted that the highest average height ( $12.30 \pm 0.32$  cm) was observed in seedlings treated with a solution of chlorinated lignosulfonates; the maximum average diameter ( $2.19 \pm 0.25$  mm) and root length ( $17.90 \pm 0.26$  cm) were recorded in pine specimens treated with “Flavobacterin”. It was found that the yield of standard seedlings increased to 96–99% with the use of lignosulfonates, extracts of birch bark fraction less than 1 mm, condensate solutions, “Mizorin”, “Flavobacterin” and ash from the Ejjafyadlajyokyudl volcano, while in the control area, this figure was only 40%. If the recommended methods of using stimulants are followed, the need for seedling growth is eliminated, which significantly reduces the cost of planting material production.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* L., seeds, seedlings, growth-stimulating drugs, protected soil.

---

**СУНГУРОВА Наталья Рудольфовна** – профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, доктор сельскохозяйственных наук, доцент. ResearcherID: H-1847-2019. ORCID: 0000-0002-8464-4596.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: n.sungurova@narfu.ru

**SUNGUROVA Natalya R.** – DSc (Agricultural), Professor, Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Northern (Arctic) Federal University, Associate Professor. ResearcherID: H-1847-2019. ORCID: 0000-0002-8464-4596.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: n.sungurova@narfu.ru

**ДРОЧКОВА Анна Алексеевна** – аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова. ResearcherID: H-1869-2019. ORCID: 0000-0003-3503-5767.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: annadrochkova@gmail.com

**DROCHKOVA Anna A.** – PhD student, Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University. ResearcherID: H-1869-2019. ORCID: 0000-0003-3503-5767.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: annadrochkova@gmail.com

**МАКАРОВ Сергей Сергеевич** – заведующий кафедрой декоративного садоводства и газоноведения Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, доктор сельскохозяйственных наук. ResearcherID: AAK-9829-2021. ORCID: 0000-0003-0564-8888.

127550, ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Россия.

**MAKAROV Sergey S.** – DSC (Agricultural), Head of the Department of Decorative Horticulture and Lawn Science, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. ResearcherID: AAK-9829-2021. ORCID: 0000-0003-0564-8888.

127550. Timiryazevskaya str. 49. Moscow. Russia.

**СТРАЗДАУСКАС Сергей Евгеньевич** – аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: strazdauskassergey@yandex.ru

**STRAZDAUSKAS Sergey E.** – PhD student, Department of Landscape Architecture and Artificial Forests, Higher School of Natural Sciences and Technologies, Northern (Arctic) Federal University.

163002. Northern Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: strazdauskassergey@yandex.ru

Ю.П. Демаков, Е.М. Романов, С.А. Денисов, В.Г. Краснов, Л.В. Черных

## ПРОБЛЕМЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЕЛЬНИКОВ В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

*Введение.* Леса Приволжского Федерального округа Российской Федерации (далее ПФО) занимают почти 36 млн га, среди которых 25% представлено ельниками [Восточноевропейские..., 2004]. Наиболее активная эксплуатация лесов ПФО происходила в двух последних столетиях, что сопровождалось интенсивным, в 4–5 раз [Демаков, Краснов, 2018], сокращением площадей ценных лесов, в том числе ельников. В это же время на всей территории Восточной и Центральной Европы отмечалось ослабление и отмирание ельников под влиянием целого комплекса негативных факторов [Маслов, 2010]. На фоне современных глобальных изменений климата сохранение еловых лесов является весьма актуальной практической задачей.

В России ель представлена многими видами [Горичев, 2014; Андреев, Будович, 2023]. В европейской части России распространены ель европейская и ель сибирская, ареалы которых во многом перекрываются. Для ПФО В. И. Пчелин<sup>1</sup> указывает, что южная граница ареала ели европейской проходит от среднего течения Камы, далее по южной границе лесной зоны доходит до Казани, пересекает Волгу и через Чувашию и юг Нижегородской области уходит севернее Саранска на Рязань. Южная граница ареала ели сибирской проходит от верховьев Камы через среднее лесное Заволжье, далее на северо-запад в сторону Карелии. На основании многолетних исследований этих елей на большей части их сплошного ареала П.П. Попов [2014] пришёл к выводу, что это один вид с большой географической изменчивостью и довольно сложной популяционно-расовой структурой.

Современные ельники ПФО, которые являются неотъемлемым и важным элементом сукцессионной системы лесов европейской части России, в лесоводственном и таксационном отношении изучены достаточно подробно [Пчелин, 2000; Рысин, Савельева, 2002; Демаков, 2018], однако вопрос об оптимизации их воспроизводства пока чётко никем не ставился.

В связи со снижением эколого-ресурсного потенциала лесов ПФО, особенно еловых, возникла острая необходимость в пересмотре системы их

---

<sup>1</sup> Пчелин В.И. Дендрология: учебник. Йошкар-Ола: Марийский Государственный технический университет, 2007. 520 с.

воспроизводства, обеспечивающей, как это отражено в «Правилах лесовосстановления» и «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», повышение производительности и биологической устойчивости насаждений при оптимизации затрат на их восстановление. Решить возникшие проблемы воспроизводства лесов ПФО можно лишь на основе богатейшего опыта предшествующих поколений лесоводов, прекрасно обобщённого в ряде публикаций и современных разработок [Газизуллин, 1990; Плантационное..., 2007; Романов и др., 2007; Денисов и др., 2008; Сингагуллин и др., 2020; Демаков и др., 2021; Володькин, Володькина, 2023].

*Цель исследования* – выбор наиболее эффективных способов воспроизводства ельников в ПФО, обеспечивающих повышение производительности и биологической устойчивости насаждений при одновременном снижении экономических затрат.

*Материалы и методика исследования.* Исследования основаны на анализе литературных источников по обозначенной проблеме, официальных материалов и данных государственного лесного реестра, собственных материалов, собранных на двух стационарных опытных объектах в культурах ели, созданных в Нолькинском (56°33'29,5"N 47°50'58,9"E) и Пектубаевском (57°08'38,8"N 48°31'08,4"E) лесничествах Республики Марий Эл в условиях свежей сурамени. На каждом из них проведена оценка состояния, размерной структуры и производительности древостоев в возрасте 33 и 40 лет традиционными методами лесной таксации. Собранный цифровой материал обработан статистически.

*Результаты исследования и обсуждение.* Как показывает государственный лесной реестр, леса ПФО распределены между 14 хозяйствующими субъектами крайне неравномерно, что связано с естественным распространением ели и особенностями ведения лесного хозяйства. Основная доля ельников сосредоточена в таёжной зоне округа: в Пермском крае (5,24\*10<sup>6</sup> га), Кировской области (2,30\*10<sup>6</sup> га), Удмуртии (0,67\*10<sup>6</sup> га). Значительно меньше ельников в Башкортостане (0,29\*10<sup>6</sup> га) и Нижегородской области (0,25\*10<sup>6</sup> га). В Оренбургской, Пензенской и Самарской областях при отсутствии естественных ельников создавались культуры ели, представленные в настоящее время 1-3 классами возраста.

Возрастная структура ельников во многом связана с лесорастительными зонами и ведением лесного хозяйства (рис. 1). Наиболее однородна она в таёжной зоне Пермского края, Кировской области, Удмуртии.

Для ели благоприятны климатические условия Нижегородского Заволжья. В Татарстане еловые леса сосредоточены в Предкамье (хвойно-широколиственная зона), тогда как в Закамье распространена лесостепь.

Пензенская, Ульяновская, Самарская, Саратовская и Оренбургская области находятся в лесостепной и степной зонах, что обусловило практически полное отсутствие здесь еловых лесов естественного происхождения.

Производительность средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных ельников связана не только с климатическими, но и с почвенными условиями. Так, наиболее велика она в Удмуртии, Татарстане, Чувашии и Нижегородской области. Здесь складываются оптимальные почвенно-климатические условия, соответствующие экологическим свойствам ели. В южнотаёжной зоне – Пермском крае и Кировской области – производительность ниже. В условиях лесостепи в некоторых местоположениях при стабильной обеспеченности почвы влагой искусственные молодняки ели имеют довольно высокую производительность и высокие классы бонитета в условиях богатых почв (рис. 1, табл. 1). Однако увлечение в условиях лесостепи созданием культур ели является в значительной мере авантюрой, поскольку даже небольшое прогнозируемое изменение климата может привести к потере таких ельников уже в недалёком будущем [Сингатуллин и др., 2020; Володькин, Володькина, 2023].

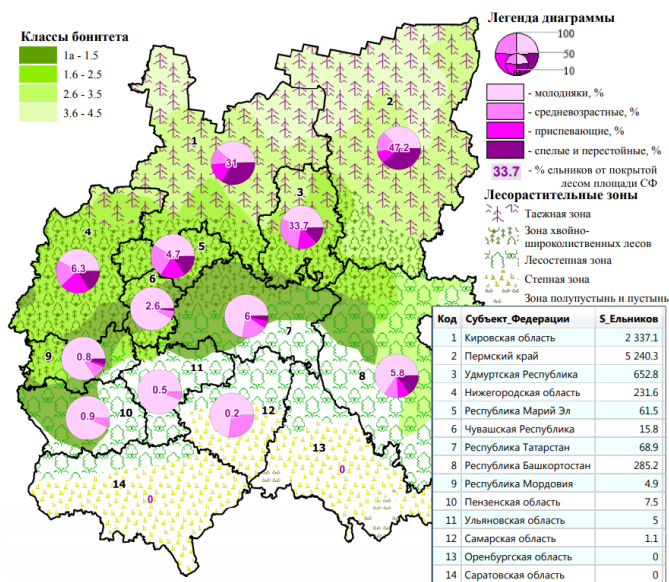


Рис. 1. Распределение ельников ПФО по производительности и возрастным группам

Fig. 1. Distribution of spruce forests in the Volga Federal District by productivity and age groups

Таблица 1

**Производительность ельников разных классов возраста в субъектах ПФО****Productivity of spruce forests of different age classes in the subjects of the Volga Federal District**

Субъект региона	Средний запас стволовой древесины в ельниках разных классов возраста, м <sup>3</sup> /га					
	1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.	5 кл.	6 кл.
Пермский край	20	69	167	217	204	181
Кировская область	20	79	174	223	239	239
Удмуртия	25	115	224	267	267	272
Башкортостан	24	104	199	220	210	186
Нижегородская область	31	89	196	237	247	287
Татарстан	38	119	208	240	232	-
Марий Эл	27	99	195	223	227	214
Чувашия	23	106	156	300	250	-
Пензенская область	48	113	140	–	–	–
Ульяновская область	30	135	100	–	–	–
Мордовия	31	92	120	200	200	
Самарская область	33	100	67	–	–	–

Таким образом, разнообразие природно-климатических условий лесов ПФО предопределяет дифференцированное ведение как лесовосстановления, так и лесопользования.

Если в южнотаёжной зоне преимущество в лесовосстановлении обеспечивается природными процессами, то в более южных районах ПФО искусственное лесовосстановление приобретает особую актуальность.

Первым важным вопросом при создании лесных культур ели плантационного типа с ускоренным циклом их выращивания в зоне хвойно-широколиственных лесов и северной части лесостепи является выбор вида посадочного материала и его исходного размера.

На территории Учебно-опытного лесхоза ПГТУ нами проведены исследования по выявлению сохранности высаженных растений ели на хорошо окультуренных дерново-подзолистых супесчаных почвах по схеме

2,5×1,0 м с исходной густотой 4 тыс. экз./га. Наивысшая сохранность высаженных растений обеспечивается при использовании сеянцев высотой более 30 см, а особенно 5-летних саженцев (табл. 2). В этих вариантах опыта отмечается наивысшая производительность древостоя и его таксовая стоимость. Наиболее же низка сохранность высаженных растений оказалась в опыте с использованием сеянцев высотой менее 15 см, что подтверждено статистически ( $F_{\text{факт.}} = 16,87 > F_{0,05} = 2,66$ ).

Таблица 2

**Сохранность высаженных растений и производительность  
33-летних культур ели в Нолькинском лесном участке  
Учебно-Опытного лесхоза ПГТУ (кв. 47, выд. 24)**

**Safety of planted plants and productivity of 33-year-old spruce crops  
in the Nolkinsky forestry Educational and Experimental forestry  
of PSTU (quarter 47, plot 24)**

Показатели	Варианты опыта							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	K
Текущая густота, экз./га	535	1538	1731	2289	2096	2677	2995	2460
Сохранность, %	47,0	42,9	48,3	63,8	58,4	74,6	83,5	68,6
Средний диаметр, см	18,0	15,5	15,6	15,5	15,6	15,9	15,1	14,2
Средняя высота, м	16,9	15,9	15,9	15,9	16,0	16,1	15,8	15,4
Объем ствола, м <sup>3</sup>	0,214	0,152	0,154	0,151	0,155	0,161	0,144	0,125
Полнота абсолютная, м <sup>2</sup> /га	13,61	29,02	33,09	43,02	40,06	52,89	53,56	38,96
Полнота относительная	0,35	0,77	0,88	1,15	1,06	1,40	1,43	1,06
Запас древесины, м <sup>3</sup> /га	116	239	273	354	332	440	442	316
в т.ч. крупной и средней, м <sup>3</sup> /га*	54,6	79,2	91,9	116,7	111,9	155,1	135,3	79,5
Средний прирост, м <sup>3</sup> /га×год	3,53	7,25	8,26	10,74	10,06	13,34	13,39	9,57
Масса стволов без коры, т/га*	43,7	89,1	101,5	131,9	123,6	164,1	164,3	117,1
Таксовая цена, тыс. руб./га*	12,46	23,18	26,52	34,26	32,29	43,31	41,98	28,75

*Примечание.* \* – значения показателей вычислены по нашей методике [Демаков, 2018]. Варианты опыта: I – размер сеянцев 5-10 см; II – 10-15 см; III – 15-20 см; IV – 20-25 см; V – 25-30 см; VI – более 30 см; VII – саженцы ели (3+2) высотой > 30 см; K – стандартные несортированные 2-летние сеянцы (контроль)

Данный объект является примером создания плантационных культур, когда за короткий промежуток времени можно получить максимальное ко-

личество продукции с единицы площади. Однако следует отметить, что полнота древостоя в вариантах VI и VII достигла критического уровня, после которого начинается интенсивный распад насаждения [Саликов, Ашметков, 1985; Рогозин, Разин, 2015], свидетельствующий о его физиологической спелости и необходимости проведения сплошной рубки. Проведение искусственного изреживания древостоя не исправит создавшуюся ситуацию, а лишь усугубит её. Так, по нашим данным [Состояние..., 2007; Денисов и др., 2008; Глушкова, Денисов, 2011], в чистых еловых культурах, созданных в Пектубаевском лесничестве РМЭ с рядовой посадкой по схеме 1,7x0,6 м и исходной густотой 9,8 тыс. экз./га, изреживание в возрасте 20 лет привело через 20 лет лишь к снижению запаса и фитомассы древесины (табл. 3). Доля сухостоя на контрольных секциях опытного объекта составляла 41,8% от наличных стволов, что свидетельствует об интенсивном распаде древостоя.

Таблица 3

**Характеристика 40-летних плантационных культур ели  
в Пектубаевском лесничестве**

**Characteristics of 40-year-old spruce plantation crops  
in the Pektubayevsky forestry**

Вариант опыта	Количество стволов, экз. /га		Доля сухих, %	Средние		Запас древесины	
	живых	сухих		Д, см	Н, м	м <sup>3</sup> /га	т/га
Контроль	2830	2035	41,8	13,2	16,6	348	136,8
I	1372	598	30,4	16,7	17,0	276	106,2
II	1260	754	37,4	16,1	16,8	235	79,9
III	1502	760	33,6	15,6	16,9	236	82,2
IV	1698	784	31,6	15,6	17,4	279	101,5

*Примечание.* Варианты изреживания: I – вырубка одного ряда через ряд (интенсивность 50%); II – вырубка двух смежных рядов через один ряд (интенсивность 67%); III – вырубка двух смежных рядов через два ряда (интенсивность 50%); IV – равномерное изреживание с интенсивностью 50%

Основным фактором, определяющим производительность культур ели, является их исходная густота [Майоров, 1968; Мартынов, 1974; Стяжкин, 2005]. Весьма убедительные преимущества исходно редких насаждений ели над густыми были показаны М.В. Рогозиным и Г.С. Разиным [Разин,

1988; Рогозин, Разин, 2015]. В возрасте 45-60 лет, когда отмечается кульминация среднего годовичного прироста этих показателей и наступает хозяйственная спелость древостоя, разница между насаждениями разной густоты составляет по запасу более 200 м<sup>3</sup>/га, а по таксовой стоимости древесины – более 40 тыс. руб./га (рис. 2).

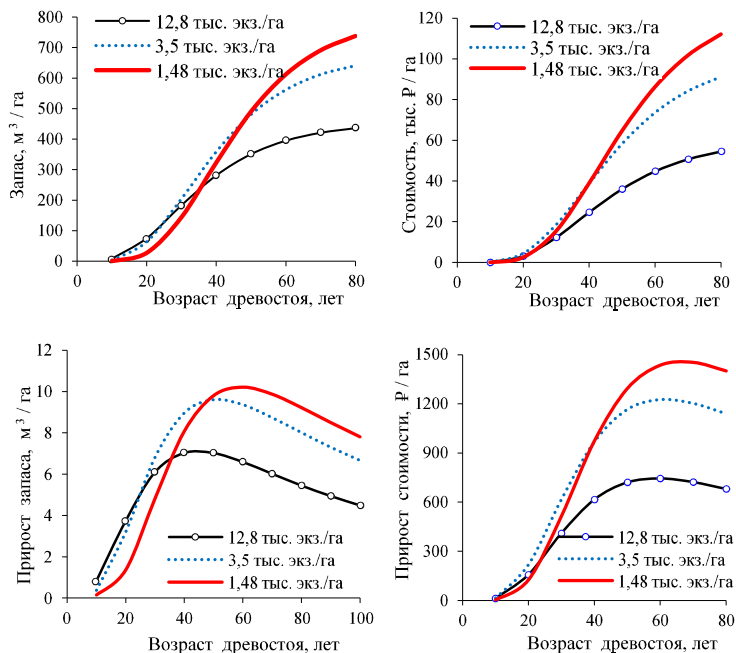


Рис. 2. Изменение запаса стволовой древесины, её среднего годовичного прироста и таксовой стоимости насаждений ели в зависимости от их возраста и исходной густоты в Пермской области

Fig. 2. Changes in the stock of stem wood, its average annual growth and the tax value of spruce plantations, depending on their age and initial density in the Perm region

Вместе с тем показатель начальной густоты необходимо рассматривать как вполне доступный и эффективный лесокультурный приём, обеспечивающий создание устойчивых насаждений целевого назначения [Плантационное..., 2007; Еремин, 2013]. «Посадки», – писал Г.Ф. Морозов, – «имеющие в виду образование леса, не должны носить садоводческого характера. Лесовод ... не обладает возможностью ни садить с такой тщательностью, ни

ухаживать за каждым деревом с такой интенсивностью, как садовод... До сих пор, пока посаженные деревца не сомкнулись своими кронами, нет ещё насаждения, нет воздействия их на занятую почву, нет поэтому гарантии или уверенности, что посадка принялась; лишь когда она сомкнётся, будущность её обеспечена» [Морозов, 1950, с. 45–49]. В ТЛУ С<sub>2</sub>, С<sub>3</sub>, Д<sub>2</sub>, Д<sub>3</sub>, где в основном и создают еловые культуры, более 50% их гибнет из-за зарастания мягколиственными породами. Поэтому здесь не обойтись без дорогостоящих агротехнических и лесоводственных уходов, которые надо проводить тем меньше, чем быстрее произойдёт общее смыкание крон.

Н.В. Ерёминим [2013] было проанализировано состояние плантационных лесных культур ели, созданных в 1983 – 1989 гг., на площади более 1000 га в Наумовском лесничестве Ковернинского мехлесхоза Нижегородской области. Посадка производилась в раскорчёванных полосах шириной 60–70 м, на которых размещалось 8 проходов плуга ПЛ-2-50 и 16 спаренных микроповышений. Тип лесорастительных условий – С<sub>2</sub>–С<sub>3</sub>. Посадка проводилась весной машиной СЛ-2. Густота посадки саженцами – 3560 шт./га, размещение посадочных мест – трёхразмерное (2,8–4,2–2,8–4,2 и т.д.). Установлено, что при данной густоте продолжительность периода уходов (агротехнических и лесоводственных) до достижения общей сомкнутости крон увеличивается (табл. 4). Наилучшее состояние имели культуры 1983–1986 гг. производства, на которых были выполнены все технологические операции в первые 5–6 лет после посадки. Культуры 1–6-летнего возраста посадки 1987–1989 гг. были отнесены в категорию «несомкнувшиеся». В случае сокращения периода проведения агроуходов происходит зарастание междурядий мягколиственными породами и резкое снижение доли участия ели до 5-3 единиц в составе 13-летних молодняков.

При обследовании молодняков в Нижегородской области и Республике Марий Эл оказалось, что самое худшее состояние имели как сплошные культуры ели с начальной густотой 3,5–5,0 тыс. экз./га, так и частичные с равномерным размещением саженцев (табл. 5). Лучшее состояние имели сплошные культуры с густотой 6 тыс. экз./га и более, а также частичные культуры с биогрупповым размещением. Между тем, в зоне хвойно-широколиственных лесов Правилами лесовосстановления<sup>2</sup> допускается исходная нормативная густота посадки 2–3-летними сеянцами с ОКС (диаметр корневой шейки не менее 2 мм и высота стволика не менее 12 см) 3 тыс. экз./га, а сеянцами с ЗКС, у которых высота стволика может составлять всего 8 см, – 2 тыс. экз./га.

---

<sup>2</sup> Правила лесовосстановления (Приказ МПР РФ № 1024 от 29.12.2021 года).

Таблица 4

**Общее состояние плантационных культур ели  
в Наумовском лесничестве Ковернинского мехлесхоза  
(по таксационным описаниям лесоустройства 1996 г.) [Еремин, 2013]**

**The general condition of spruce plantation crops  
in the Naumovsky forestry district of the Koverninsky forestry enterprise  
(according to the tax descriptions of forestry in 1996) [Еремин, 2013]**

Возраст, лет	Долевое участие культур ели в составе насаждений и их площадь, га					Итого, га
	7Е	6Е	5Е	4Е	3Е	
7–8		21,5	–	113,5	103,0	238,0
9–10			165,0	193,5	–	358,5
11–12	152,0		93,4	102,0	–	347,4
13			56,3			56,3
Итого	152,0	21,5	314,7	409,0	103,0	1000,2
%	15	2	32	41	10	100
Относительная полнота (общая сомкнутость насаждения)						
1–6					0,5	17,0
7–8		0,6		0,7	0,8	221,0
9–10			0,7	0,8		358,5
11–12	0,7		0,7	0,8		747,4
13			0,7			56,3
Итого	152,0	21,5	314,7	409,0	103,0	1000,2
%	15	2	32	41	10	100

На опытном стационаре Учебно-опытного лесхоза ПГТУ в ТЛУ С<sub>2</sub> при посадке саженцев (Е<sub>3+2</sub>) с высотой стволика более 30 см по схеме 2,5×1 м смыкание крон в ряду произошло на третьем году [Романов и др., 2023]. В варианте с высотой стволика трёхлетних сеянцев 10–20 см смыкание наступило позже, что увеличило период проведения агротехнических уходов. Культуры, созданные трёхлетними сеянцами с высотой стволика 5–10 см, оказались расстроеными. К 14-летнему возрасту наибольшая густота за счёт минимизации отпада растений была достигнута в насаждениях, созданных крупномерными трёхлетними сеянцами высотой более 20 см и саженцами Е<sub>3+2</sub>, которые обеспечивают прирост растений в высоту 45–49 см уже на 6–7-й год, что почти в 2 раза выше, чем у трёхлетних стандартных

сеянцев с высотой стволика 15–20 см. Это может иметь существенное значение в повышении жизнеспособности лесных культур, а также снижении интенсивности и кратности проведения ухода при их формировании.

Таблица 5

**Состояние культур ели в Нижегородской области  
и Республике Марий Эл в ТЛУ С<sub>2</sub>**

**The state of spruce crops in the Nizhny Novgorod region  
and the Republic of Mari El in TL C<sub>2</sub>**

Показатели состояния лесных культур	Типы лесных культур			
	сплошные с начальной густотой, тыс. экз./га		частичные с размещением	
	3,5 – 5,0	6,0 и более	равномерным	биогрупповым
Культуры 6–8-летнего возраста				
Обследованное количество участков и их площадь, га	13/238	11/25	29/285	15/48
Доля от общего количества, %	100	100	100	100
с преобладанием ели в составе	57	90	2	37
с участием ели до 4 единиц	43	10	98	63
в т.ч. нуждающихся в осветлении	43	10	98	63
Культуры 9–15-летнего возраста в 1990–1996 гг.				
Обследованное количество участков и их площадь, га	42/762	11/25	31/186	84/250
Доля от общего количества, %	100	100	100	100
с преобладанием ели в составе	54	86	9	19
с участием ели до 4 единиц	24	10	25	42
ель находится под пологом леса	20	4	66	39
Культуры 20–35-летнего возраста в 1997–2005 гг.				
Обследованное количество участков и их площадь, га	Культуры данной густоты отсутствуют	11/25	25/150	53/210
Доля от общего количества, %		100	100	100
с преобладанием ели в составе		74	3	15
с участием ели до 4 единиц		12	10	34
ель находится под пологом леса	4	87	51	

В лесостепной зоне искусственные молодняки ели в Пензенской области имеют высокую производительность и классы бонитета только благодаря довольно богатым (серые лесные) почвам с близким залеганием глинистых пород при условии их стабильного увлажнения и защите от ветров окружающими лесными массивами [Володькин, Володькина, 2023]. И.К. Сингатуллин с соавторами [2020] на основании массового учёта состояния культур ели отмечают, что за последние десятилетия в Республике Татарстан погибли по природно-климатическим и иным причинам лесные культуры ели на больших площадях. При этом авторы оценивают состояние ельников за пределами естественного ареала в Татарстане как неустойчивое, что приводит их к выводу о нецелесообразности создания культур ели в лесостепной зоне.

Таким образом, всю территорию ПФО, на наш взгляд, целесообразно разделить на три природно-хозяйственных района (далее ПХР) в соответствии с географической зональностью и структурой лесного фонда, в каждом из которых установить свой режим хозяйственного использования и воспроизводства лесов.

В первый ПХР, относящийся к южно-таёжному району европейской части Российской Федерации<sup>3</sup> входят северные части Пермского края, Кировской области, Удмуртии, Нижегородской области, где сосредоточена основная часть ельников, особенно приспевающих, спелых и перестойных.

Наиболее эффективным методом восстановления ельников в южнотаёжной зоне является регулирование численности подроста ели предварительной генерации. При исследовании естественного возобновления ели Е.И. Успенским с соавторами [2002] были выявлены особенности этого процесса. Так, при продвижении от таёжной зоны на юг все большее значение в механизме регуляции густоты подроста ели приобретает влага; абсолютная численность хозяйственно годного подроста снижается к югу. Жизнеспособность елового подроста под пологом производных типов леса выше, чем в коренных ельниках. Подростом ели на 50% обеспечены производные от ельников березняки липовые, липово-кисличные, на 70% – черничные и кисличные, на 60% – насаждения на переувлажнённых почвах. В.Г. Стороженко [2017] подтвердил роль влаги в накоплении подроста ели и показал, что разновозрастные ельники южной тайги обеспечены её подростом до 16 тыс. экз./га, количество которого зависит от типа леса, при доле мелкого подроста в 53–79%.

---

<sup>3</sup> Приказ МПР РФ от 18 августа 2014 года N 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон...» с изменениями на 2 августа 2023 года

Здесь наиболее рационален режим использования и воспроизводства лесов в коренных и производных от ельников древостоях с применением зимних длительно постепенных рубок [Ведерников, 2017] и получением качественных сортиментов берёзы, комплексных рубок в производных березняках и осинниках со сплошной рубкой листового полога и одновременным прореживанием подроста ели [Дружинин, 2014], чересполосных рубок [Грачев и др., 2008; Предеина и др., 2024], особенно при предшествующем снижении сомкнутости полога рубками ухода [Теринов и др., 2011]. При соблюдении лесоводственных требований к проведению этих рубок они эффективно обеспечивают преобразование производных древостоев в еловые за счёт подроста предварительной генерации. При этом следует стремиться к формированию одновозрастных древостоев, производительность которых на 35% выше, чем разновозрастных [Казимиров, 1971]. Необходимо обеспечивать на месте вырубок ели формирование коротко-производных березняков в качестве восстановительного этапа для формирования ельников с последующими рубками трансформации [Теринов и др., 2020]. Также необходимо вырубать имеющиеся перестойные и разновозрастные низкопроизводительные ельники, в которых широкое распространение получают корневые и стволовые гнили деревьев [Стороженко, 2013, 2023]. Искусственное восстановление ели целесообразно лишь на сплошных вырубках березняков и осинников, в которых отсутствовал её благонадёжный подрост. Создание плантационных культур ели с оборотом 40–60 лет в условиях южной тайги может оправдывать себя при выращивании балансовой древесины при росте ели по Ia и I классам бонитета. Для выращивания целевой крупной древесины пригодны только земли, обеспечивающие рост ели по Ia классу бонитета [Плантационное..., 2007]. К ним чаще всего относятся земли, вышедшие из-под сельскохозяйственного использования.

Во второй ПХР, включающий в себя район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации, входят части Пермского края, Кировской и Нижегородской областей, Удмуртии, Башкортостана, Татарстана, а также целиком Республики Марий Эл и Чувашия. Здесь наряду с экстенсивным режимом использования лесов должен найти место интенсивный режим с преобладанием выборочных [Штукин, 2018] и сплошнолесосечных рубок древостоев и последующим созданием на вырубках лесных культур ели целевого назначения с коротким (30–40 лет) циклом выращивания [Плантационное..., 2007; Штукин, Волович, 2018]. Плантационные культуры ели, создаваемые на одной и той же территории, потребуют пересмотра «севооборота» вплоть до создания культур берёзы повислой с по-

следующим введением в её междурядья ели, что позволит через 25-30 лет получить либо берёзовый баланс, либо энергетическую древесину [Родин, Родин, 2008], или через 50 лет крупномерные берёзовые сортименты, сократив время на выращивание следующего урожая еловых балансов. На землях, вышедших из-под сельскохозяйственного использования, выработанных карьерах и овражно-балочных системах можно создавать карбоновые фермы и биоэнергетические плантации, а также специализированные агролесоводственные хозяйства.

В третий ПХР ПФО, включающий лесостепной район и район степей европейской части Российской Федерации, входят Пензенская, Самарская, Саратовская и Оренбургская области, часть республик Башкортостан и Татарстан, преобладающая часть Мордовии и Ульяновской области. Выращивать еловые насаждения здесь вообще не целесообразно, а имеющиеся лучше заменять культурами сосны обыкновенной, которые в этих условиях более производительны и приспособлены к условиям среды.

*Заключение.* Проведённое исследование позволило выявить ключевые проблемы и определить оптимальные подходы к воспроизводству ельников в Приволжском Федеральном округе, которые должны быть дифференцированы по природно-хозяйственным районам.

В южнотаёжной зоне (Пермский край, Кировская область, Удмуртия) эффективно естественное восстановление через регулирование густоты и состава подроста ели предварительной генерации. Рекомендуются зимние длительно постепенные и комплексные рубки для трансформации производных березняков в еловые насаждения.

В зоне хвойно-широколиственных лесов (Республики Марий Эл, Чувашия, Татарстан) целесообразно сочетание разных режимов, включая создание плантационных культур ели с ускоренным циклом (30–40 лет) и использованием саженцев  $E_{3+2}$  и отобранных по высоте крупномерных трехлетних сеянцев (высотой стволика более 25 см), что сокращает период ухода и повышает устойчивость культур.

В лесостепной и степной зонах (Пензенская, Самарская, Оренбургская области) создавать культуры ели не целесообразно из-за климатических рисков. Более соответствуют засушливым условиям зоны культуры сосны обыкновенной.

В каждом природно-хозяйственном районе необходима оптимизация методов лесовосстановления, основными аспектами которой являются:

- исходная густота посадки: установлено, что редкие насаждения демонстрируют большую производительность по сравнению с густыми. Бо-

лее устойчивы культуры с густотой 6,0 тыс. экз./га, а частичные – с размещением биогруппами, что позволяет сократить объемы агротехнических и лесоводственных уходов;

- параметры посадочного материала: использование саженцев ( $E_{3+2}$ ) и трехлетних крупномерных сеянцев с высотой стволика 25 см и выше обеспечивает быстрое смыкание крон, снижая риски зарастания мягколиственными породами и также минимизируя экономические затраты на уходы за посадками.

Необходимо учитывать существующие риски и ограничения. Так, в лесостепной зоне даже незначительные климатические изменения могут привести к гибели еловых культур, что подтверждается опытом Татарстана. Изреживание древостоев в чистых ельниках не улучшает их состояние, а ускоряет распад, что требует своевременных сплошных рубок при достижении физиологической спелости.

Для практики ведения хозяйства в ельниках ПФО важны: зональный подход с учётом лесорастительных условий и структуры лесного фонда; развитие плантационного лесоводства на землях, вышедших из сельскохозяйственного оборота, с акцентом на получение балансовой древесины, биоэнергетические и карбоновые проекты; совершенствование нормативов густоты посадки и стандартов посадочного материала в соответствии с региональными особенностями.

Реализация предложенных мер позволит повысить биологическую устойчивость и продуктивность ельников ПФО, сохранив их экологический и экономический потенциал в условиях глобальных климатических изменений. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку региональных нормативов по ведению хозяйства в ельниках Приволжского федерального округа, а также мониторинг эффективности внедряемых методов.

*Вклад авторов.* Демаков Ю.П. – концепция исследования, методология исследования, информационный поиск, составление первого варианта статьи; Романов Е.М. – участие в разработке методики исследования и ее реализации в части рассмотрения проблем искусственного лесовосстановления, подготовка исходного текста; Денисов С.А. – участие в разработке методики исследования, информационный поиск, редактирование и подготовка второго варианта статьи; Краснов В.Г. – участие в реализации методики исследований, в том числе сборе и обработке полевого материала; Черных В.Л. – участие в реализации методики исследований, анализ и обработка данных государственного лесного реестра.

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

### **Библиографический список**

*Андреев А.Е., Будович М.В.* Ели России: их разнообразие и распространение // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2023. № 3. С. 14–28. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.3.14.

*Ведерников Е.А.* Последствия длительно-постепенных рубок в ельнике мшистом // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2017. № 4(44). С. 97-101. DOI: 10.31563/1684-7628-2017-44-4-97-101.

*Володькин А.А., Володькина О.А.* Опыт выращивания ели обыкновенной в лесостепной зоне среднего Поволжья // Региональные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Пенза, 2023. С. 378-381.

Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Кн. 1 / отв. ред. О.В. Смирнова. М.: Наука, 2004. 479 с.

*Газизуллин А.Х.* Рост и производительность культур ели в лесостепи Среднего Поволжья // Лесоведение. 1990. № 3. С. 11-16.

*Глушкова Ю.П., Денисов С.А.* Рекомендации по территориальному размещению плантаций ели для выращивания балансов в Республике Марий Эл. Йошкар-Ола, 2011. 44 с.

*Горичев Ю.П.* О ботанико-географической дифференциации Восточноевропейских широколиственно-темнохвойных лесов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1-3. С. 858-860.

*Грачев В.А., Залесов А.С., Помазнюк В.А.* Лесоводственная эффективность чересполосных постепенных рубок в производных березняках Урала // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. № 10(48). С. 28-32.

*Демаков Ю.П.* Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. 432 с.

*Демаков Ю.П., Краснов В.Г.* Изменение структуры и ресурсного потенциала лесов Чувашии за период с 1942 по 2014 годы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 1 (37). С. 19-32. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.19.

*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. С. 23–46. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.1.23.

*Денисов С.А., Глушкова Ю.П., Туева Л.Е.* Возможность и перспективы плантационного выращивания ели в Республике Марий Эл // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 2. С. 28-39.

*Дружинин Ф.Н.* К применению комплексных рубок // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. № 3(339). С. 17-23.

- Еремин Н.В.* Ускоренное лесовосстановление и лесовыращивание (на примере восстановления ельников). Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. 164 с.
- Казимиров Н.И.* Ельники Карелии. Л.: Наука, 1971. 140 с.
- Майоров С.А.* Влияние первоначальной густоты еловых культур на дальнейший рост насаждений // Лесное хозяйство. 1968. № 5. С. 26-29.
- Мартынов А.Н.* Густота культур хвойных пород и ее значение // Обзорная информация ЦБНТИлесхоза. М., 1974. 59 с.
- Маслов А.Д.* Короед-типограф и усыхание еловых лесов. М.: ВНИИЛМ, 2010. 138 с.
- Морозов Г.Ф.* Очерки по лесокультурному делу. 2е изд. М.: Гослесбумиздат, 1950. 234 с.
- Плантационное лесоводство / под общ. ред. И.В. Шутова. СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2007. 366 с.
- Попов П.П.* Закономерности региональной дифференциации популяций елей европейской и сибирской. Новосибирск: Наука, 2014. 216 с.
- Предеина И.В., Башегуров К.А., Белов Л.А., Залесов С.В., Итешина Н.М.* Череполосная постепенная рубка как способ реформирования производных мягколиственных насаждений в коренные хвойные // Сибирский лесной журнал. 2024. № 6. С. 59-67. DOI: 10.15372/SJFS20240608.
- Пчелин В.И.* Ельники и осинники Среднего Поволжья (природные особенности, биоразнообразие и рост). Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 220 с.
- Разин Г.С.* Модели роста древостоев еловых культур разной густоты // Лесоведение. 1988. № 2. С. 41-47.
- Рогозин М.В., Разин Г.С.* Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы: монография [Электронный ресурс]. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2015. 1 CD-ROM.
- Родин А.Р., Родин С.А.* Создание лесных энергетических плантаций // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2008. № 1. С. 178-182.
- Романов Е.М., Еремин Н.В., Мухортов Д.И., Нуреева Т.В.* Лесные культуры. Ускоренное лесовыращивание. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 287 с.
- Романов Е.М., Самосудов А.Е., Нуреева Т.В., Бекмансуров М.В.* Дифференцированное применение посадочного материала при создании лесных культур // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2023. № 2(58). С. 6-29. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.2.6.
- Рысин Л.П., Савельева Л.И.* Еловые леса России. М.: Наука, 2002. 335 с.
- Саликов Н.Я., Ашметков В.М.* Полнота как норматив режима формирования древостоев // Лесное хозяйство. 1985. № 10. С. 52-54.
- Сингатуллин И.К., Мусин Х.Г., Мухаметшина А.Р., Петрова Г.А.* Анализ состояния лесных культур ели в Республике Татарстан // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 231. С. 41-55. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.41-55.

Состояние лесных культур ели плантационного типа после рубок ухода // Наука в условиях современности: сб. ст. Йошкар-Ола, 2007. С. 6–9.

*Стороженко В.Г.* Состояние и пораженность древоразрушающими грибами коренных ельников подзоны северной тайги // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 6. С. 153–158.

*Стороженко В.Г.* Естественное возобновление в коренных разновозрастных ельниках европейской тайги России // Сибирский лесной журнал. 2017. № 3. С. 87–92. DOI: 10.15372/SJFS20170309.

*Стороженко В.Г.* Санитарное состояние коренных ельников тайги европейской России // Лесной вестник. 2023. Т. 27, № 1. С. 17–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-17-25.

*Стяжкин В.П.* Возрастная динамика оптимальной густоты и максимальной производительности древостоев ели // Лесное хозяйство. 2005. № 4. С. 40–43.

*Теринов Н.Н., Мехренцев А.В., Полухин А.В.* Восстановление коренных темнойвойных пород после вырубki производных мягколиственных насаждений на Урале // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. № 5. С. 22–27.

*Теринов Н.Н., Андреева Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Магасумова А.Г.* Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 3(375). С. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23.

*Успенский Е.И., Денисов С.А., Калинин К.К., Лоскутов С.П.* Естественное возобновление под пологом леса в Среднем Поволжье // ИВУЗ. Лесной журнал. 2002. № 4. С. 46–54.

*Штукин С.С.* Лесовосстановление вырубok усыхающих ельников // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2(210). С. 116–120.

*Штукин С.С., Волович П.И.* Стандарт Республики Беларусь – новый уровень развития плантационного лесоводства // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 1(204). С. 13–19.

## References

*Andreev A.E., Budovich M.V.* Spruce trees of Russia: their diversity and distribution. *Proceedings of St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry*, 2023, no. 3, pp. 14–28. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.3.14. (In Russ.)

The condition of plantation-type spruce forest crops after logging. *Science in modern conditions: collection of articles*. Yoshkar-Ola, 2007, pp. 6–9. (In Russ.)

*Demakov Iu.P.* The structure and patterns of forest development in the Republic of Mari El. Yoshkar-Ola: VSUT, 2018. 432 p. (In Russ.)

*Demakov Iu.P., Krasnov V.G.* Changes in the structure and resource potential of Chuvash forests over the period from 1942 to 2014. *Bulletin of Volga State University*

*of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2018, no. 1 (37), pp. 19-32. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.19. (In Russ.)

Demakov Iu.P., Romanov E.M., Krasnov V.G., Nureeva T.V. The experience of artificial forest reforestation in the Middle Volga region and the strategy for improvement. *Bulletin of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2021, no. 1, pp. 23-46. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.1.23. (In Russ.)

Denisov S.A., Glushkova Iu.P., Tueva L.E. The possibility and prospects of plantation spruce cultivation in the Republic of Mari El. *Bulletin of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2008, no. 2. pp. 28-39. (In Russ.)

Druzhinin F.N. To the application of complex logging. *BHEI. Russian forestry journal*, 2014, no. 3(339), pp. 17-23. (In Russ.)

Eastern European forests: history in the recent and modern period. Book 1 / ed. by O.V. Smirnova. Moscow: Science, 2004. 479 p. (In Russ.)

Eremin N.V. Accelerated reforestation and reforestation (on the example of restoring spruce forests). Yoshkar-Ola: VSUT, 2013. 164 p. (In Russ.)

Gazizullin A.H. Growth and productivity of spruce crops in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Forestry science*, 1990, no. 3, pp. 11-16. (In Russ.)

Glushkova Iu.P., Denisov S.A. Recommendations on the territorial location of spruce plantations for growing balance sheets in the Republic of Mari El. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2011. 44 p. (In Russ.)

Gorichev Iu.P. On the botanical and geographical differentiation of Eastern European broadleaf-dark coniferous forests. *Proceedings of Samara Research Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 16, no. 1-3, pp. 858-860. (In Russ.)

Grachev V.A., Zalesov A.S., Pomaznyuk V.A. Forestry efficiency of interlaced gradual logging in derived birch forests of the Urals. *Bulletin of Altai State Agrarian University*, 2008, no. 10(48), pp. 28-32. (In Russ.)

Kazimirov N.I. Spruce forests of Karelia. Leningrad: Science, 1971. 140 p. (In Russ.)

Martynov A.N. The density of coniferous crops and its significance. Overview of the Central Research Institute of Forestry. Moscow: Central Research Institute of Forestry, 1974. 59 p. (In Russ.)

Mayorov S.A. The influence of the initial density of spruce crops on the further growth of plantings. *Forestry*, 1968, no. 5, pp. 26-29. (In Russ.)

Maslov A.D. Bark beetle-typographer and drying of spruce forests. Moscow: VNIILM, 2010. 138 p. (In Russ.)

Morozov G.F. Essays on forest culture. 2nd ed. Moscow: Goslesbumizdat, 1950. 234 p. (In Russ.)

Pchelin V.I. Spruce and aspen forests of the Middle Volga region (natural features, biodiversity and growth). Yoshkar-Ola: MarSTU, 2000. 220 p. (In Russ.)

Plantation forestry / ed. by I.V. Shutov. St. Petersburg: St. Petersburg State Polytechnic University, 2007. 366 p. (In Russ.)

*Popov P.P.* Patterns of regional differentiation of European and Siberian spruce populations. Novosibirsk: Science, 2014. 216 p. (In Russ.)

*Predeina I.V., Bashegurov K.A., Belov L.A., Zalesov S.V., Iteshina N.M.* Interlaced gradual logging as a way to transform soft-leaved derivatives into indigenous conifers. *Siberian Forest Journal*, 2024, no. 6, pp. 59–67. DOI: 10.15372/SJFS20240608. (In Russ.)

*Razin G.S.* Growth models of stands of spruce crops of different densities. *Forestry*, 1988, no. 2, pp. 41–47. (In Russ.)

*Rodin A.R. Rodin S.A.* Establishing forest energy plantations. *Bulletin of MSUF – Forest Bulletin*, 2008, no. 1, pp. 178–182. (In Russ.)

*Rogozin M.V., Razin G.S.* Development of stands. Models, laws, hypotheses: monograph [Electronic resource]. Perm: Perm State National Research University, 2015. 1 CD-ROM. (In Russ.)

*Romanov E.M., Eremin N.V., Mukhortov D.I., Nureyeva T.V.* Forest crops. Accelerated reforestation. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2007. 287 p. (In Russ.)

*Romanov E.M., Samosudov A.E., Nureeva T.V., Bekmansurov M.V.* Differentiated application of planting material in the establishment of forest crops. *Bulletin of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2023, no. 2(58), pp. 6–29. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.2.6. (In Russ.)

*Rysin L.P., Savelyeva L.I.* Spruce forests of Russia. Moscow: Science, 2002. 335 p. (In Russ.)

*Salikov N.Ia., Ashmetkov V.M.* Completeness as a standard of the regime of formation of stands. *Forestry*, 1985, no. 10, pp. 52–54. (In Russ.)

*Shtukin S.S.* Reforestation of deforestation of shrinking spruce forests. *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources*, 2018, no. 2(210), pp. 116–120. (In Russ.)

*Shtukin S.S., Volovich P.I.* The standard of the Republic of Belarus – a new level of development of plantation forestry. *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources*, 2018, no. 1(204), pp. 13–19. (In Russ.)

*Singatullin I.K., Musin H.G., Mukhametshina A.R., Petrova G.A.* Analysis of the condition of spruce forest crops in the Republic of Tatarstan. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoy Akademii*, 2020, iss. 231, pp. 41–55. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.41-55. (In Russ.)

*Storozhenko V.G.* The state and infestation of wood-destroying fungi in the indigenous spruce forests of the northern taiga subzone. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2013, no. 6, pp. 153–158. (In Russ.)

*Storozhenko V.G.* Natural regeneration in the indigenous spruce forests of the European taiga of Russia. *Siberian Forest Journal*, 2017, no. 3, pp. 87–92. DOI: 10.15372/SJFS20170309. (In Russ.)

*Storozhenko V.G.* Sanitary condition of the indigenous spruce forests of the taiga of European Russia. *Forest Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 17-25. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-17-25. (In Russ.)

*Styazhkin V.P.* Age dynamics of optimal density and maximum productivity of spruce stands. *Forestry*, 2005, no. 4, pp. 40-43. (In Russ.)

*Terinov N.N., Mekhrentsev A.V., Polukhin A.V.* Restoration of indigenous dark coniferous species after cutting down derivatives of soft-leaved plantations in the Urals. *Bulletin of MSUF – Forest Bulletin*, 2011, no. 5, pp. 22-27. (In Russ.)

*Terinov N.N., Andreeva E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A., Magasumova A.G.* Restoration of spruce forests: theory, domestic experience and solution methods. *BHEI. Russian forestry journal*, 2020, no. 3(375), pp. 9-23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23. (In Russ.)

*Uspensky E.I., Denisov S.A., Kalinin K.K., Loskutov S.P.* Natural regeneration under the forest canopy in the Middle Volga region. *BHEI. Russian forestry journal*, 2002, no. 4, pp. 46-54. (In Russ.)

*Vedernikov E.A.* Consequences of long-term gradual logging in the spruce stand. *Bulletin of Bashkir State Agrarian University*, 2017, no. 4(44), pp. 97-101. DOI: 10.31563/1684-7628-2017-44-4-97-101. (In Russ.)

*Volodkin A.A., Volodkina O.A.* The experience of growing Norway spruce in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Regional problems of sustainable development of the agro-industrial complex in the context of digital transformation: proceedings of All-Russ. sci.-pract. conf. Penza*, 2023, pp. 378-381. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 12.03.2025*

---

**Демаков Ю.П., Романов Е.М., Денисов С.А., Краснов В.Г., Черных Л.В.** Проблемы воспроизводства ельников в Приволжском Федеральном округе // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 84–106. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.84-106

Ельники занимают четвертую часть лесов Приволжского Федерального округа. На фоне современных глобальных изменений и не всегда научно обоснованной хозяйственной деятельности происходит снижение занимаемой ими площади и эколого-ресурсного потенциала. Решать возникшие проблемы воспроизводства ельников ПФО можно лишь на основе богатейшего опыта предшествующих поколений лесоводов и современных разработок. Цель исследования – выбор наиболее эффективных способов воспроизводства ельников ПФО, обеспечивающих повышение производительности и биологической устойчивости насаждений при одновременном снижении экономических затрат. Полученные данные основаны на анализе литературных источников по обозначенной проблеме, данных государственного лесного реестра, материалов собственных исследований на стационарных опытных

объектах, созданных в Учебно-опытном и Пектубаевском лесничествах Республики Марий Эл. На каждом из них проведена оценка состояния, размерной структуры и производительности древостоев традиционными методами лесной таксации. Собранный цифровой материал обработан статистически. Выявлены ключевые проблемы и определены оптимальные подходы к воспроизводству ельников в ПФО, которые должны быть дифференцированы по природно-хозяйственным зонам: южнотаежной, хвойно-широколиственных лесов, степной и лесостепной. В каждой из них необходима оптимизация способов и методов лесовосстановления. Для практики ведения хозяйства в ельниках ПФО важны: зональный подход с учетом лесорастительных условий и структуры лесного фонда; развитие плантационного лесоводства на землях, вышедших из сельскохозяйственного оборота, с акцентом на получение балансовой древесины, биоэнергетические и карбоновые проекты; совершенствование густоты посадки и стандартов посадочного материала в соответствии с региональными особенностями.

**Ключевые слова:** воспроизводство ельников, зональный подход, устойчивость насаждений, лесные культуры, лесосырьевые плантации, сеянцы, саженцы.

**Demakov Iu.P., Romanov E.M., Denisov S.A., Krasnov V.G., Chernykh L.V.** Current problems of spruce stands regeneration in the Volga Federal District. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 84–106 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.84-106

Spruce stands comprise one-fourth of the total forested area in the Volga Federal District. Amid contemporary global transformations and the economic activity not consistently grounded in scientific principles, there is a reduction in the forest cover and in their ecological and resource potential. The challenges of reproducing spruce stands in the Volga Federal District can only be addressed by leveraging the extensive knowledge of past foresters alongside contemporary advancements. The research aims to identify the most efficient methods for regenerating spruce stands in the Volga Federal District, enhancing production and biological resilience of the plantations while minimising economic expenditures. The data collected are derived from the analysis of research literature, the state forest register, and our own research findings obtained at stationary experimental plots established in the Educational-experimental and Pektubayevsky forestry enterprise of the Republic of Mari El. At each location, an evaluation of the condition, size structure, and production of the stands was conducted using conventional forest inventory methods. The obtained digital data has undergone statistical analysis. The key problems have been identified, and ideal strategies for the regeneration of spruce stands in the Volga Federal District have been delineated, categorised by natural and economic zones: southern taiga, coniferous-deciduous forests, steppe, and forest-steppe. In each instance, it is essential to optimise the

methods and strategies of reforestation. In order to properly maintain the spruce stands in the Volga Federal District, the following factors are crucial: a zonal strategy that considers forest conditions and the composition of the forest stand; the advancement of plantation forestry on former agricultural lands, focusing on obtaining paper wood, bioenergy, and carbon initiatives; enhancement of planting density and standards of planting material in alignment with regional characteristics.

**Key words:** reproduction of spruce stands, zonal methodology, sustainability of plantations, forest crops, resource plantations, seedlings.

---

**ДЕМАКОВ Юрий Петрович** – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, старший научный сотрудник, доктор биологических наук. SPIN-код: 1270-0945. ORCID: 0009-0006-1084-4700.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия.  
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

**ДЕМАКОВ Iurii P.** – DSc (Biological), Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology, Senior Researcher. SPIN-code: 1270-0945. ORCID: 0009-0006-1084-4700.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

**РОМАНОВ Евгений Михайлович** – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 8291-5546. ORCID: 0000-0003-2248-5216.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия.  
E-mail: RomanovEM@volgatech.net

**ROMANOV Evgenii M.** – DSc (Agricultural), Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology. SPIN-code: 8291-5546. ORCID: 0000-0003-2248-5216.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: RomanovEM@volgatech.net

**ДЕНИСОВ Сергей Александрович** – профессор кафедры лесоводства и лесоустройства Поволжского государственного технологического университета, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 9711-7130. ORCID: 0000-0002-8805-1253.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия.  
E-mail: DenisovSA@volgatech.net

**DENISOV Sergei A.** – DSc (Agricultural), Professor, Department of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. SPIN- code: 9711-7130. ORCID: 0000-0002-8805-1253.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: RomanovEM@volgatech.net

**КРАСНОВ Виталий Геннадьевич** – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 3179-8907. ORCID: 0000-0003-0742-0393.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: Krasnovvg@volgatech.net

**KRASNOV Vitalii G.** – DSc (Agricultural), Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology, Associate Professor. SPIN- code: 3179-8907. ORCID: 0000-0003-0742-0393.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: Krasnovvg@volgatech.net

**ЧЕРНЫХ Леонид Валерьевич** – доцент кафедры лесоводства и лесоустройства Поволжского государственного технологического университета, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 1832-1470. ORCID: 0000-0003-3428-0701.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: ChernyhLV@volgatech.net

**CHERNYKH Leonid V.** – PhD (Agricultural), Associate Professor, Department of Forestry and Forest Management, Volga State University of Technology. SPIN- code: 1832-1470. ORCID: 0000-0003-3428-0701.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: ChernyhLV@volgatech.net

**Е.Д. Сафронычева, Д.С. Каржаев, В.А. Волков, М.В. Тис,  
В.В. Шаршавикова, Л.В. Ветчинникова, Е.К. Потокина, А.В. Жигунов**

**ДИАГНОСТИКА ОДНО- И ДВУЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ  
КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ  
С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНОГО МАРКЕРА WPCW1,  
КОРРЕЛИРУЮЩЕГО С ПРИЗНАКОМ «УЗОРЧАТАЯ ДРЕВЕСИНА»**

*Введение.* Древесные растения, в том числе произрастающие на Северо-Западе России, обычно имеют прямоволокнистую или слабовыраженную текстуру древесины. Уникальным представителем широко распространенного здесь рода *Betula* L. считается карельская береза *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, главной особенностью которой является неповторимая узорчатая древесина, передающаяся по наследству [Ветчинникова, Титов, 2021]. Визуально наличие узорчатой текстуры в древесине можно установить по косвенным признакам, к которым, в частности, относятся утолщения или выпуклости на стволе, однако они чаще всего становятся различимыми только на 8–10-й год развития растений, хотя у одних внешне они становятся заметными уже в возрасте 3–5 лет [Ермаков, 1986; Ruupänen, 1988; Нупунен et al., 2010], а у других – только в 20–25 [Сакс, Бандер, 1970; Соколов, 1970].

В 1970-е гг. был разработан способ диагностики карельской березы, который позволяет напрямую определять наличие в стволе узорчатой древесины и степень насыщенности ее рисунка. Он предусматривает вырез участка коры на стволе (в местах утолщений) в виде небольшого прямоугольника (например, размером 2 × 4 см) [Ермаков, 1986] или Г-образного надреза [Евдокимов, 1989], когда кору снимали не полностью, а только отгибали. Если под снятой корой поверхность древесины на стволе ровная и гладкая, то она соответствует обычной прямоволокнистой текстуре; если на ней открываются рельефные эллипсовидные углубления в виде вытянутых вдоль ствола ямок, то это свидетельствует о наличии узорчатой текстуры. Чем больше таких углублений на участке древесины под снятой корой, тем, как правило, выше насыщенность ее рисунка. На внутренней стороне коры карельской березы в местах образования узорчатой древесины наблюдаются соответствующие форме и размерам ямок килевидные выступы, полностью отсутствующие

щие у других видов березы. Пользоваться этим способом диагностики узорчатой текстуры древесины и определять плотность ее рисунка целесообразно в период активного транспорта ассимилятов (в условиях Карелии и Ленинградской обл. это июнь-июль), когда кора отделяется от древесины без особых усилий. Вместе с тем такой способ часто становится причиной повреждения тканей самого дерева, поэтому мы не рекомендуем его использовать.

С началом активного выращивания карельской березы многие исследователи пытались найти морфологические и/или физиолого-биохимические особенности, которые уже на ранних этапах ее развития могли свидетельствовать о появлении в дальнейшем узорчатой текстуры в ее древесине. Например, при визуальной оценке сеянцев рекомендуется обращать внимание на наличие 2–3 почек вместо одной на вершине главного побега и/или «бородавок» в его верхней части; образование «припухлости» или «вздутия», особенно в нижней части стволика; неравномерное развитие междоузлий; ветвление; замедление роста и/или формирование боковых побегов вследствие отмирания верхушечной почки [Соколов, 1950; Любавская, 1978; Ветчинникова, Титов, 2019; Saarnio, 1980]. Некоторые авторы предлагали ориентироваться на площадь листовой пластинки, которая у карельской березы вдвое превышала таковую у березы повислой [Николаева, 2004], но согласно другим авторам [Saarnio, 1980; Побирушко, 1992], этот показатель существенно варьирует в зависимости от погодных условий конкретных лет. Некоторые авторы отмечали повышенную активность пероксидаз у сеянцев карельской березы по сравнению с березой повислой в возрасте одного года [Попов и др., 1996] и даже раньше – 1,5–2,5 месяцев [Галибина и др., 2016; Никерова и др., 2019]. При анализе ростовых веществ Н.Е. Косиченко и С.В. Щетинкин [Косиченко, Щетинкин, 1987; Щетинкин, 1988] обнаружили более высокое (почти в 2 раза) содержание гетероауксина в местах утолщений и наплывов, чем между ними. Ряд авторов отмечали в пасоке карельской березы в отдельные годы повышенное содержание цитокининов [Ahokas, 1985], глутаминовой кислоты [Эглите, Ошкая, 1973] и отсутствие сорбитола [Pätiälä, 1980], а в стволе – сахарозы [Новицкая, 2008]. Однако такого рода различия носят преимущественно количественный характер или обнаруживаются к моменту визуального проявления косвенных признаков наличия узорчатой древесины и потому не могут считаться диагностическими [Ветчинникова, Титов, 2021].

В последние годы внимание ученых сместилось в сторону привлечения молекулярно-генетических методов исследования [Gubaev et al., 2024]. К примеру, широкие возможности открывает использование молекулярного маркера, получившего название ВpCW1, коррелирующего с признаком «узорчатая древесина» [Жигунов и др., 2024].

К настоящему времени, когда карельская береза оказалась на грани исчезновения, а в природных условиях практически отсутствует ее жизнеспособный подрост, актуализировалась проблема диагностики среди семенного потомства носителей признака «узорчатая древесина» на ранних этапах их развития. В связи с этим целью наших исследований явилась диагностика одно- и двулетних сеянцев карельской березы с помощью молекулярного маркера ВрСW1, направленного на выявление среди них потенциальных носителей узорчатой древесины.

*Объекты и методы исследований.* Объектом исследований служило семенное (полусибсовое) потомство карельской березы *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, полученное от свободного опыления деревьев, произрастающих на территории Гатчинского постоянного лесосеменного участка, расположенного вблизи п. Терволово Ленинградской области [Ветчинникова и др., 2024]. В период проведения опытов сеянцы выращивали в условиях неотапливаемой теплицы, расположенной на территории Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета (г. Санкт-Петербург), а в конце сентября переносили из теплицы на площадку закаливания.

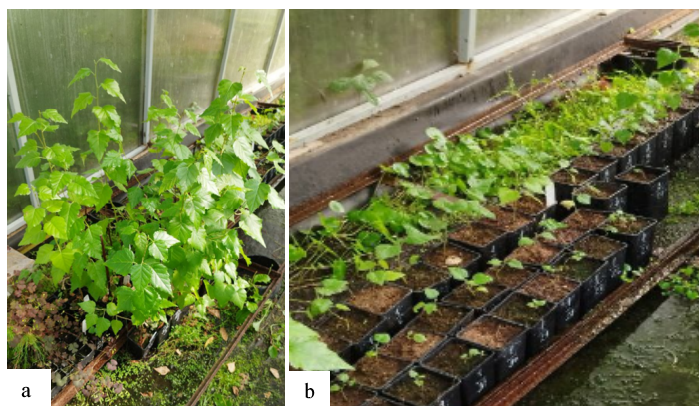
Определение ростовых показателей (высота и диаметр у основания стебля на уровне корневой шейки) проводили по завершении вегетационного периода. Высоту растений измеряли с помощью линейки, а диаметр – штангенциркулем. Вариабельность показателей оценивали с помощью коэффициента вариации (С, %) [Мамаев, 1973].

Материалом для исследований служили листья 99 сеянцев, среди которых 23 – двулетние с одревесневшим побегам (образцы № 1–23) и 76 – однолетние недревесневшие (с зелеными побегам) (образцы № 24–99) (рис. 1). До начала экстракции ДНК листья хранили при температуре –80 °С.

ДНК выделяли модифицированным СТАВ-методом [Rahimah et al., 2006], разводили дистиллированной водой в соотношении 1 : 9 и использовали для проведения ПЦР-анализа с привлечением молекулярного маркера ВрСW1 [Жигунов и др. 2024], который по размеру ампликона позволяет выявлять потенциальных носителей признака «узорчатая древесина» среди семенного потомства на ранних этапах его развития [Ветчинникова и др., 2025].

Реакционная смесь для ПЦР состояла из дистиллированной воды – 7,4 мкл, 10х буфера (Евроген, Москва) – 1 мкл, смеси dNTP (10 мМ каждого) (Евроген) – 0,2 мкл, прямого праймера (10мкМ) и обратного (10 мкМ) – по 0,2 мкл, Таq ДНК-полимеразы (Евроген, Москва) – 0,2 мкл, ДНК –

0,8 мкл, общий объем – 10 мкл. Амплификацию проводили в амплификаторе Bio-Rad T-100 (США). Программа амплификации включала начальную стадию денатурации при 95°C в течение 3 мин, затем 30 циклов: денатурация при 95°C в течение 30 с, отжиг матрицы с праймерами при 58°C – 30 с, элонгация 72°C – 45 с и заключительный цикл элонгации при 72°C – 5 мин. Электрофорез проводили в 1,5% агарозном геле в трис-боратном буфере с ЭДТА (TBE) при 70 Вт в течение 1,5 часов. Электрофореграммы получали с помощью станции гель-документирования ChemiDoc XRS+ (Bio-Rad, США).



*Рис. 1. Внешний вид двухлетних (а) и однолетних (б) сеянцев карельской березы*

*Fig. 1. The appearance of two-year-old (a) and one-year-old (b) Karelian birch plants*

Для статистической оценки ростовых показателей (высота и диаметр у корневой шейки) сеянцев с наличием или отсутствием узорчатой древесины использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Дополнительно для определения степени влияния высоты и диаметра на проявление изучаемого признака применялась логистическая регрессия (или метод построения линейного классификатора).

*Результаты исследования.* В результате ПЦР-анализа ДНК, выделенного из листьев одно- и двухлетнего полусибсового потомства (от свободного опыления) карельской березы, получены продукты амплификации длиной как 530 п.н., так и 476 п.н. в гомо- или гетерозиготном состоянии. Разница в

длине фрагментов (обусловленная делецией, равной 54 п.н.) обнаружена нами ранее при изучении sibсового потомства (от контролируемого опыления) карельской березы в возрасте 15 лет и старше, которая проявляется у носителей признака «узурчатая древесина» с точностью 92% и выше [Gubaev et al., 2024]. Отсутствие делеции и гомозиготность по аллелю, соответствующему 530 п.н., наоборот, характеризуют растения как «безузурчатые».

Исследования показали, что у одно- и двулетнего полусибсового потомства карельской березы в совокупности только у 23 из 95 изученных сеянцев выявлены продукты амплификации, содержащие делецию (рис. 2). Добавим, что аллель, соответствующий 476 п.н., представлен преимущественно в гетерозиготном состоянии (476/530 п.н.) и лишь у двух (№ 12 и 61) из 23 растений находится в гомозиготном состоянии (476/476 п.н.).

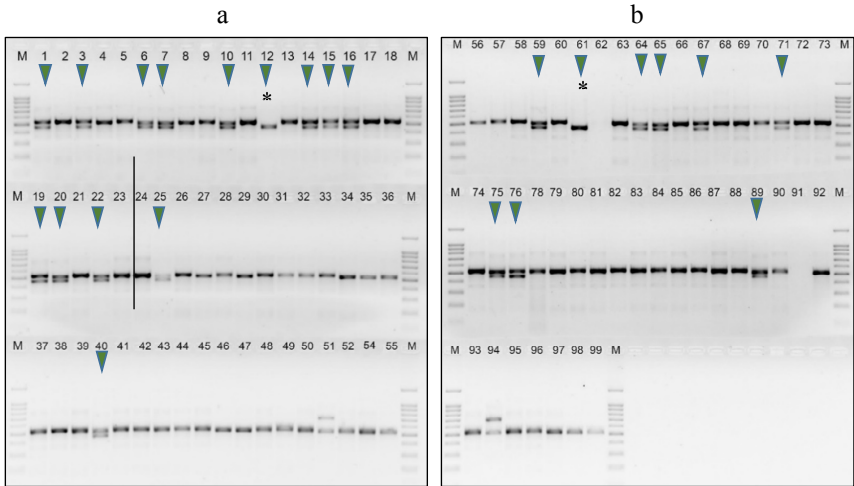


Рис. 2. ПЦР-диагностика сеянцев карельской березы с использованием маркера BpCW1. Потенциальные носители признака «узурчатая древесина» указаны стрелкой, где \* – аллель, соответствующий 476 п.н., в гомозиготном состоянии. Вертикальная черта разделяет двулетние (образцы № 1–23) и однолетние (образцы № 24–99) растения. Последовательные ряды цифр (а, б) соответствуют номерам деревьев

Fig. 2. PCR diagnostics of Karelian birch seedlings using the BpCW1 marker. Potential carriers of the “patterned wood” trait are indicated by an arrow, where \* is the allele corresponding to 476 bp in the homozygous state. The vertical line separates biennial (samples No. 1–23) and annual (samples No. 24–99) plants, where consecutive rows of numbers (a, b) correspond to tree numbers

Невысокий процент (24,2%) потенциальных носителей признака «узорчатая древесина» среди изученных растений можно объяснить, с одной стороны, их семенным происхождением, когда при свободном (перекрестном) опылении могли участвовать деревья не только карельской березы, но и березы повислой, растущие на сопредельной территории, а с другой – их ранним возрастом и спецификой гистогенеза у семян карельской березы, имеющего место в первые два года их развития. В частности, согласно мнению С.В. Щетинкина и Н.А. Щетинкиной [2018], в первый год широкие агрегатные лучи в тканях стебля формируются из межпучковой паренхимы за счет деятельности лучевых инициалей, а на второй год – локальных участков камбия, включающих наряду с лучевыми и веретеновидные инициали. Все это, по мнению авторов, в совокупности обуславливает появление узорчатой текстуры в древесине карельской березы лишь на второй год развития побегов.

Сравнительный анализ разновозрастных семян свидетельствует, что количество растений, имеющих делецию, среди двулетних семян выше по сравнению с однолетними в 3,6 раза (рис. 3). В определенной степени это также говорит о том, что наследование признака «узорчатая древесина» в семенном потомстве карельской березы зависит от того, какие виды растений участвовали в перекрестном опылении, а его проявление у потенциальных носителей – от фазы развития первичной образовательной ткани – прокамбия, который формирует ткани сосудистых пучков и дает начало вторичному камбию, позднее образующему вторичные проводящие ткани (ксилему и флоэму).

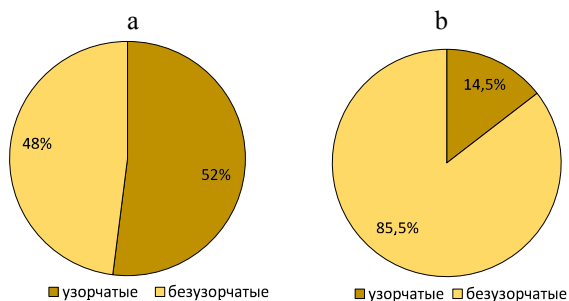
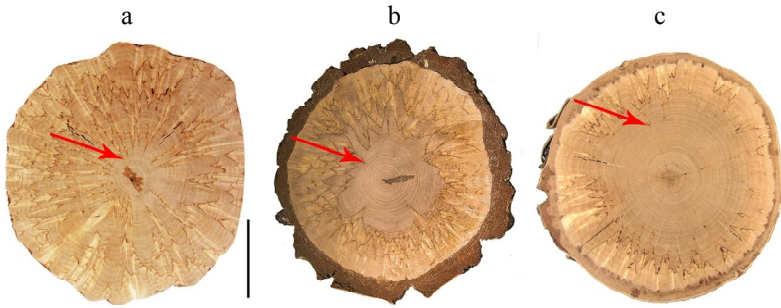


Рис. 3. Соотношение узорчатых и безузорчатых растений в дву- (а) и однолетнем (б) семенном потомстве карельской березы, полученном от свободного опыления

Fig. 3. The ratio of patterned and unpatterned plants in two-year (a) and one-year (b) seed progeny of Karelian birch obtained from open pollination

Это не противоречит мнению авторов, которые на основании изучения гистогенеза карельской березы пришли к заключению, что образование узорчатой древесины начинается в первый год жизни растений, а усиливается на второй, когда активизируется работа вторичного камбия [Щетинкин, Щетинкина, 2018]. Вместе с тем, как было сказано выше, визуально начало формирования узорчатого рисунка в древесине карельской березы проявляется в среднем на 8-й год ее развития и позднее, что хорошо заметно на поперечных спилах (рис. 4).



*Рис. 4.* Визуальное проявление узорчатого рисунка в древесине (указано стрелкой) на 8-й (а), 15-й (б) и 25-й (с) годы развития карельской березы. Поперечные спилы. Масштабная линейка = 5 см [Ветчинникова и др., 2013]

*Fig. 4.* Visual manifestation of the patterned design in wood (indicated by the arrow) in the 8th (a), 15th (b), and 25th (c) years of development of Karelian birch. Cross-sections. Scale bar = 5 cm [Ветчинникова и др., 2013]

Анализ ростовых показателей сеянцев карельской березы, полученных в результате свободного опыления, выявил значительные различия в зависимости от их возраста (табл. 1). Так, у двулетних растений по сравнению с однолетними высота больше в среднем почти в 6 раз, а диаметр – более чем в 3 раза. Существенные различия, отмеченные по ростовым показателям, нашли отражение в коэффициенте вариации как по высоте (78,5 и 46,6%), так и по диаметру (61,6 и 36,7%) у одно- и двулетних сеянцев соответственно. Возможно, это, хотя бы отчасти, является отражением полиморфизма жизненных форм, характерного для карельской березы [Ветчинникова и др., 2025]. При этом коэффициент вариации у однолетних растений по сравнению с двулетними был выше почти в 2 раза не только по высоте, но и по диаметру. Можно допустить, что это обусловлено фазой созревания семян, поскольку их сбор проводился дважды в разные даты в июле и августе.

Таблица 1

**Высота и диаметр одно- и двухлетних сеянцев карельской березы,  
полученных в результате от свободного опыления**

**Height and diameter of one- and two-year-old Karelian birch  
seedlings obtained as a result of open pollination**

Показатель	Возраст сеянцев	
	однолетние	двухлетние
	Высота	
Число деревьев, шт.	72	23
Среднее значение, см	9,2±7,2	54,1±25,2
Размах изменчивости, см	2,0–49,0	14,0–90,0
Коэффициент вариации (C), %	78,5	46,6
	Диаметр (у корневой шейки)	
Число деревьев, шт.	72	23
Среднее значение, мм	1,5±0,59	4,7±1,7
Размах изменчивости, мм	0,2–4,9	1,4–7,6
Коэффициент вариации (C), %	61,6	36,7

Обнаруженный размах изменчивости сеянцев по высоте и диаметру свидетельствует о неравномерности их роста, однако их значения не отразились на результатах диагностики семенного потомства. Так, результаты однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) свидетельствуют, что между группами (носителей признака «узорчатая древесина» или с отсутствием таковой) расчетные значения достоверности сходства дисперсии (p-value) у однолетнего и двухлетнего семенного потомства по высоте составили 0,24 и 0,79, а по диаметру – 0,10 и 0,36 соответственно. Это свидетельствует об отсутствии влияния высоты и диаметра на проявление изучаемого признака в первые два года развития растений. Логистическая регрессия также не обнаружила взаимосвязей между ростовыми показателями и формированием «узорчатой древесины» у карельской березы (показатель p-value равен 0,31).

*Заключение.* Карельская береза *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti является аборигенным представителем европейской лесной дендрофлоры, а ее дизъюнктивный ареал располагается исключительно на территории стран Балтийского региона [Ветчинникова, Титов,

2021]. Появление карельской березы в данном макрорегионе, по всей вероятности, произошло благодаря исторически сложившемуся сочетанию климатических, геоморфологических, фитоценологических и эдафических условий и является отражением особого направления в эволюции рода *Betula* L., в результате которого сформировался и закрепился качественно новый морфотип [Ветчинникова, Титов, 2023]. При этом благодаря высокому полиморфизму и индивидуальной изменчивости не только по текстуре древесины (от едва заметной волнистости волокон до ярко выраженной), но и, например, по формам роста (от кустообразной до высокоствольной), у карельской березы заметно расширилась норма реакции, что позволяет ей нормально расти и развиваться в разных экологических условиях, а формирование «узорчатости» в древесине способствовало усилению механической функции ствола деревьев и появлению возможности накопления большего количества запасных веществ и их более рациональному использованию при ухудшении внешних условий [Ветчинникова, Титов, 2021]. Дополнительно отметим, что, имея гибридное происхождение, карельская береза легко скрещивается с березой повислой, а в годы отсутствия фенологической изоляции также и с березой пушистой, несмотря на то, что последняя имеет тетраплоидный, а не диплоидный набор хромосом. В результате перекрестного опыления между видами в семенном потомстве карельской березы наблюдается явно выраженное расщепление признаков, поэтому отбор потенциальных носителей признака «узорчатая древесина» среди однолетних сеянцев карельской березы затруднителен даже для специалистов.

Использование молекулярного маркера ВрСW1 позволило выявить среди одно- и двулетних сеянцев карельской березы, полученных в результате свободного опыления, потенциально «узорчатые» и «безузорчатые» растения. Так, у 23 из 95 сеянцев (или 24%) идентифицированы продукты амплификации длиной 530 п.н. и/или 476 п.н., которые характерны для «узорчатых» растений, причем таких растений среди однолетних сеянцев оказалось 14,5%, а среди двулетних – 52%. Можно предположить, что это обусловлено не только их семенным происхождением, но и особенностями гистогенеза карельской березы, при котором образующийся в первый год прокамбий формирует первичные проводящие ткани, а затем, соединяясь в сплошное кольцо, дает начало вторичному камбию, который позднее делится и согласно сезонным изменениям активности формирует годичные кольца. Очевидным является факт, что по ростовым показателям двулетние сеянцы существенно превышали однолетние. В среднем они оказались

больше по высоте в 6 раз, а по диаметру у корневой шейки – в 3 раза. Однако эти показатели в первые два года жизни растений не оказали какого-либо влияния на проявление у них признака «узорчатая древесина», несмотря на полиморфизм жизненных форм, характерный для карельской березы. На основании полученных данных авторы пришли к заключению, что при семенном размножении карельской березы с помощью молекулярного маркера VrCW1 уже на ранних этапах развития среди сеянцев (особенно двулетних) можно выявить потенциальных носителей признака «узорчатая древесина», что невозможно сделать обычными методами, основанными на анализе только внешних (морфологических) или физиолого-биохимических признаков.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 22-16-00096-П «Выявление генетических факторов, контролирующих признак «узорчатость древесины» у карельской березы с использованием высокопроизводительного генотипирования»).

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

### **Библиографический список**

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.* Карельская береза – уникальный биологический объект // *Успехи современной биологии.* 2019. Т. 139, № 5. С. 412-433. DOI: 10.1134/S0042132419050107.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.* Карельская береза: важнейшие результаты и перспективы исследований. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2021. 243 с.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф.* Карельская берёза: загадки остаются // *Успехи современной биологии.* 2023. Т. 143, № 1. С. 91–104. DOI: 10.31857/S0042132423010118.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Кузнецова Т.Ю.* Карельская береза: биологические особенности, динамика ресурсов и воспроизводство. Петрозаводск: КарНЦ, 2013. 312 с.

*Ветчинникова Л.В., Жигунов А.В., Гудкова К.А., Савельев О.А.* Современное состояние насаждений карельской березы в Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2024. Вып. 250. С. 46–66. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.46-66.

*Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Сафроньчева Е.Д., Жигунов А.В.* Особенности роста сеянцев карельской березы, полученных в результате свободного опыления, и выявление среди них носителей признака «узорчатая древесина» с помощью молекулярного маркера VrCW1 // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2025. Вып. 256. С. 397-413. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.397-413.

Галибина Н.А., Мошкина Е.В., Никерова К.М., Мощенская Ю.Л., Знаменский С.Р. Активность пероксидазы как индикатор степени узорчатости древесины карельской березы // Лесоведение. 2016. № 4. С. 294-304.

Евдокимов А.П. Биология и культура карельской березы. Л.: ЛГУ, 1989. 228 с.

Ермаков В.И. Механизмы адаптации березы к условиям Севера. Л.: Наука, 1986. 144 с.

Жигунов А.В., Ветчинникова Л.В., Губаев Р.Ф., Каржаев Д.С., Волков В.А., Потюкина Е.К. ВpCW1 – молекулярный маркер для выявления генотипов карельской березы на ранних стадиях развития. Патент РФ № 2823809. 2024. 7 с.

Косиченко Н.Е., Щетинкин С.В. Анатомическое строение искусственно индуцированной узорчатой древесины березы // Современные проблемы экологической анатомии растений. Ташкент, 1987. С. 122-124.

Любавская А.Я. Карельская береза. М.: Лесная промышленность, 1978. 158 с.

Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 284 с.

Никерова К.М., Галибина Н.А., Мощенская Ю.Л., Новицкая Л.Л., Подгорная М.Н., Софронова И.Н. Участие каталазы и пероксидазы в процессах ксилогенеза у карельской березы // Лесоведение. 2019. № 2. С. 115-127. DOI: 10.1134/S0024114819020086.

Николаева Н.Н. Формирование листового аппарата у форм березы повислой (*Betula pendula* Roth) с разной текстурой древесины: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2004. 25 с.

Новицкая Л.Л. Карельская береза: механизмы роста и развития структурных аномалий. Петрозаводск: Verso, 2008. 144 с.

Побирушко В.Ф. Распространение и изменчивость березы карельской в Беларуси // Ботаника. 1992. Вып. 31. С. 31–39.

Попов В.К., Авраменко Р.С., Филоненко Е.В. Способ диагностики узорчатой древесины карельской березы. Патент РФ № 2063679. 1996. 5 с.

Сакс К.А., Бандер В.Л. Опыт по выращиванию карельской березы в Латвийской ССР // Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск, 1970. С. 294–300.

Соколов Н.О. Карельская береза. Петрозаводск: Гос. изд. Карело-Финской ССР, 1950. 116 с.

Соколов Н.О. Отбор и выращивание березы карельской в Ленинградской области с использованием самосева // Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск, 1970. С. 277-281.

Щетинкин С.В. Гистогенез узорчатой древесины березы (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl. и *Betula pendula* Roth.): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1988. 24 с.

Щетинкин С.В., Щетинкина Н.А. К формированию узорчатой древесины карельской березы // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. 2018. Вып. 51. С. 180-186.

Эглите Г.К., Ошкая В.П. Свободные аминокислоты карельской березы // Изв. АН Латв. ССР. 1973. № 1. С. 15–20.

Ahokas H. Cytokinins in the spring sap of curly birch (*Betula pendula* f. *carelica*) and the non-curly form // J. Plant. Physiol. 1985. Vol. 118. P. 33–39.

Gubaev R., Karzhaev D., Grigoreva E., Lytkin K., Safronycheva E., Volkov V., Nesterchuk V., Vetchinnikova L., Zhigunov A., Potokina E. Dissection of figured wood trait in curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica*) using high-throughput genotyping // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. P. 50-58. DOI: 10.1038/s41598-024-55404-y.

Hunynen J., Niemistö P., Viherä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in Northern Europe // Forestry: International Journal of Forest Research. 2010. Vol. 83. No. 1. P. 103–119. DOI: 10.1093/FORESTRY/PPP035.

Pätiälä R. V. Pirun puristama visakoivu // Suomen Luonto. 1980. Vol. 39, no. 1. P. 3–5.

Rahimah A.B., Cheah S.C., Rajinder S. Freeze-drying of oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf and its effect on the quality of extractable DNA // Journal of Oil Palm Research. 2006. Vol. 18. P. 296-304.

Ryynänen L. Cloning of *Betula pendula* and *Betula pubescens* by means of tissue culture // Bulletin of the Finnish Forest Research Institute. 1988. No. 304. P. 24–30.

Saarnio R. Visakoivu – vuoden puu // Dendrologian seuran tiedotuksia. 1980. Vol. 11, no. 1. P. 4–14.

## References

Ahokas H. Cytokinins in the spring sap of curly birch (*Betula pendula* f. *carelica*) and the non-curly form. *J. Plant. Physiol.*, 1985, vol. 118, pp. 33–39.

Eglite G.K., Oshkaya V.P. Free amino acids of Karelian birch. *Izv. AN Latv. SSR*, 1973, no. 1, pp. 15–20. (In Russ.)

Ermakov V.I. Mechanisms of adaptation of birch to Northern conditions. Leningrad: Nauka, 1986. 144 p. (In Russ.)

Evdokimov A.P. Biology and cultivation of curly birch. Leningrad: LSU, 1989. 228 p. (In Russ.)

Galibina N.A., Moshkina E.V., Nikerova K.M., Moschenskaya Y.L., Znamensky S.R. Peroxidase activity as indicator of the degree of figured wood in curly birch. *Lesovedenie*, 2016, no. 4, pp. 294–304. (In Russ.)

Gubaev R., Karzhaev D., Grigoreva E., Lytkin K., Safronycheva E., Volkov V., Nesterchuk V., Vetchinnikova L., Zhigunov A., Potokina E. Dissection of figured wood trait in curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) using high-throughput genotyping. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, pp. 50–58. DOI: 10.1038/s41598-024-55404-y.

Hunynen J., Niemistö P., Viherä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in Northern

Europe. *Forestry: International Journal of Forest Research*, 2010, vol. 83, no. 1, pp. 103-119. DOI: 10.1093/FORESTRY/PPP035.

Kosichenko N.E., Shchetinkin S.V. Anatomical structure of artificially induced figured birch wood. *Contemporary Problems of Ecological Plant Anatomy*. Tashkent, 1987, pp. 122-124. (In Russ.)

Lyubavskaya A.Ya. Curly birch. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1978, 158 p. (In Russ.)

Mamaev S.A. Forms of intraspecific variability of woody plants. Moscow: Nauka, 1973. 284 p. (In Russ.)

Nikerova K.M., Galibina N.A., Moschenskaya Y.L., Novitskaya L.L., Podgornaya M.N., Sofronova I.N. Participation of catalase and peroxidase in xylogenesis processes in curly birch. *Lesovedenie*, 2019, no. 2, pp. 115–127. DOI: 10.1134/S0024114819020086. (In Russ.)

Nikolaeva N.N. Formation of leaf apparatus in forms of *Betula pendula* Roth with different wood texture: author's abstract. Diss. ... Cand. Biol. Sci. St. Petersburg, 2004. 25 p. (In Russ.)

Novitskaya L.L. Karelian birch: mechanisms of growth and development of structural anomalies. Petrozavodsk: Verso, 2008. 144 p. (In Russ.)

Pätiälä R.V. Pirun puristama visakoivu. *Suomen Luonto*, 1980, vol. 39, no. 1, pp. 3–5.

Pobirushko V.F. Distribution and variability of curly birch in Belarus. *Botanica*, 1992, vol. 31, pp. 31-39. (In Russ.)

Popov V.K., Avramenko R.S., Filonenko E.V. Method for diagnosis of figured wood in curly birch. Patent of Russian Federation No. 2063679. 1996. 5 p. (In Russ.)

Rahimah A.B., Cheah S.C., Rajinder S. Freeze-drying of oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf and its effect on the quality of extractable DNA. *J. Oil Palm Res.*, 2006, vol. 18, pp. 296-304.

Ryyänen L. Cloning of *Betula pendula* and *Betula pubescens* by means of tissue culture. *Bulletin of Finnish Forest Research Institute*, 1988, no. 304, pp. 24-30.

Saarnio R. Visakoivu – vuoden puu. *Dendrologian seuran tiedotuksia*, 1980, vol. 11, no. 1, pp. 4-14.

Saks K.A., Bander V.L. Experience of cultivating curly birch in Latvian SSR. *Forest Genetics, Breeding and Seed Production*. Petrozavodsk, 1970, pp. 294-300. (In Russ.)

Shchetinkin S.V. Histogenesis of figured birch wood (*Betula pendula* Roth var. *carelica* Merkl. and *Betula pendula* Roth): author's abstract. Diss. ... Cand. Agr. Sci. Voronezh, 1988. 24 p. (In Russ.)

Schetinkin S.V., Schetinkina N.A. On the formation of figured wood in curly birch. *Current Problems of Forest Complex: collection of sci. works*, 2018, vol. 51, pp. 180-186. (In Russ.)

Sokolov N.O. Curly birch. Petrozavodsk: State Publishing House of Karelian-Finnish SSR, 1950. 116 p. (In Russ.)

*Sokolov N.O.* Selection and cultivation of curly birch in Leningrad region using self-seeding. *Forest Genetics, Breeding and Seed Production*. Petrozavodsk, 1970, pp. 277–281. (In Russ.)

*Vetchinnikova L.V., Titov A.F.* The Karelian Birch: a Unique Biological Object. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2019, vol. 139, no. 5, pp. 419–433. DOI: 10.1134/S0042132419050107. (In Russ.)

*Vetchinnikova L.V., Titov A.F.* Curly birch: main results and research perspectives. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS, 2021. 243 p. (In Russ.)

*Vetchinnikova L.V., Titov A.F.* Curly Birch: Some Secrets Remain. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2023, vol. 143, no. 1, pp. 91–104. DOI: 10.31857/S0042132423010118. (In Russ.)

*Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Kuznetsova T.Yu.* Curly birch: biological characteristics, resource dynamics, and reproduction. Petrozavodsk: KarNC, 2013. 312 p. (In Russ.)

*Vetchinnikova L.V., Zhigunov A.V., Gudkova K.A., Savelyev O.A.* Contemporary state of curly birch plantations in Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 46–66. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.46-66. (In Russ.)

*Vetchinnikova L.V., Titov A.F., Safronycheva E.D., Zhigunov A.V.* Features of growth of curly birch seedlings obtained by open pollination and identification of carriers of figured wood trait using molecular marker BpCW1. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2025, iss. 256, pp. 397-413. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.397-413. (In Russ.)

*Zhigunov A.V., Vetchinnikova L.V., Gubaev R.F., Karzhaev D.S., Volkov V.A., Potokina E.K.* BpCW1 - molecular marker for early identification of curly birch genotypes. Patent of Russian Federation No. 2823809. 2024. 7 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 12.12.2025*

---

**Сафроньчева Е.Д., Каржаев Д.С., Волков В.А., Тис М.В., Шаршавикова В.В., Ветчинникова Л.В., Потоккина Е.К., Жигунов А.В.** Диагностика одно- и двулетних сеянцев карельской березы с помощью молекулярного маркера BpCW1, коррелирующего с признаком «узорчатая древесина» // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 107–125. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.107-125

Представлены результаты диагностики карельской березы *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti среди одно- и двулетних сеянцев, полученных в результате свободного опыления деревьев, произрастающих в Ленинградской области на территории Гатчинского постоянного лесосеменного участка. Использование молекулярного маркера BpCW1 позволило уже в первый год жизни выявить среди сеянцев потенциальных носителей узорчатой

древесины, хотя ее косвенные признаки внешне проявляются у деревьев в среднем в возрасте 8 лет и позднее. Показано, что у 23 из 95 изученных сеянцев (24%) имеются продукты амплификации (476 п.н. или 476/530 п.н.), свойственные карельской березе. Установлено, что аллель, содержащий делецию, представлен главным образом (91,3%) в гетерозиготном (476/530 п.н.) состоянии и лишь небольшой процент (8,7%) – в гомозиготном (476/476 п.н.), независимо от возраста сеянцев. Количество потенциальных носителей узорчатой древесины среди двулетних сеянцев выше по сравнению с однолетними в 3,6 раза. Высказано предположение, что, небольшая доля растений с узорчатой древесиной в семенном потомстве карельской березы обусловлена, с одной стороны, их происхождением (от свободного опыления), а с другой – спецификой гистогенеза сеянцев в первые два года их развития. Из анализа ростовых показателей следует, что двулетние растения по средним значениям высоты и диаметра существенно превосходят однолетние (в шесть и три раза соответственно). На основании проведенной работы сделан вывод о возможности использования семян от свободного опыления для выращивания посадочного материала карельской березы при условии выявления среди них носителей признака «узорчатая древесина» с помощью молекулярного маркера BpCW1, что в раннем возрасте практически невозможно сделать другими методами, основанными на анализе только внешних (морфологических) или физиолого-биохимических признаков. В дальнейшем этот способ может использоваться как для решения научных задач, так и практического использования.

Ключевые слова: карельская береза, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, семенное потомство, рост, узорчатая древесина, диагностика.

**Safronycheva E.D., Karzhaev D.S., Volkov V.A., Tis M.V., Sharshavikova V.V., Vetchinnikova L.V., Potokina E.K., Zhigunov A.V.** Diagnostics of one- and two-year-old seedlings of curly birch using the molecular marker BPCW1, which correlates with the “patterned wood” trait. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 107–125 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.107-125

The results of diagnostics of curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) are presented among one- and two-year-old seedlings obtained as a result of open pollination of trees growing in the Leningrad Region on the territory of the Gatchina PLSU. Using the BpCW1 molecular marker, it was possible to identify potential carriers of figured wood among seedlings already in the first year of life, although its indirect characteristics become apparent in trees on average at the age of 8 years or later. It was shown that 23 of the 95 seedlings studied (24%) contained amplification products (476 bp or 476/530 bp) characteristic of

curly birch. It was established that the allele containing the deletion is represented mainly (91.3%) in the heterozygous (476/530 bp) state and only a small percentage (8.7%) in the homozygous (476/476 bp) state, regardless of the age of the seedlings. However, the number of potential carriers of patterned wood is 3.6 times higher among two-year-old seedlings than among one-year-olds. It is hypothesized that the small proportion of plants with patterned wood in the seed progeny of curly birch is due, on the one hand, to their origin (from open pollination) and, on the other, to the specific histogenesis of seedlings during the first two years of their development. Analysis of growth indicators shows that two-year-old plants significantly exceed one-year-olds in average height and diameter (sixfold and threefold, respectively). Based on the conducted work, it is concluded that the use of open-pollinated seeds for growing curly birch planting material is feasible, provided that carriers of the “patterned wood” trait are identified among them using the BpCW1 molecular marker. This is virtually impossible to achieve at an early age using other methods based solely on the analysis of external (morphological) or physiological-biochemical characteristics. In the future, this method can be used both for solving scientific problems and for practical use.

**Key words:** curly birch, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, seed progeny, growth, patterned wood, diagnostics.

---

**САФРОНЫЧЕВА Елизавета Дмитриевна** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. SPIN-код: 4971-2924. ResearcherID: JNT-0110-2023. ORCID: 0009-0001-7015-5230.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: esafronycheva@mail.ru

**SAFRONYCHEVA Elizaveta D.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Junior Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute. SPIN-code: 4971-2924. ResearcherID: JNT-0110-2023. ORCID: 0009-0001-7015-5230.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: esafronycheva@mail.ru

**КАРЖАЕВ Дмитрий Сергеевич** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: karzhaevd@gmail.com

**KARZHAEV Dmitry S.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: karzhaevd@gmail.com

**ВОЛКОВ Владимир Александрович** – директор Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, кандидат биологических наук.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vol-j@mail.ru

**VOLKOV Vladimir A.** – PhD (Biological), Director of the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: vol-j@mail.ru

**ТИС Маргарита Витальевна** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

лаборант-исследователь научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: margarita.tis@yahoo.com

**TIS Margarita V.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Laboratory Research Assistant at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: margarita.tis@yahoo.com

**ШАРШАВИКОВА Вероника Владимировна** – лаборант-исследователь научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: veronikasharshavikova@gmail.com

**SHARSHAVIKOVA Veronika V.** – Laboratory Research Assistant at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institutsky av. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: veronikasharshavikova@gmail.com

**ВЕТЧИННИКОВА Лидия Васильевна** – главный научный сотрудник лаборатории лесных биотехнологий Института леса Карельского научного центра РАН;

185910, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия;

ведущий научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук, доцент. SPIN-код: 7683-6378. ResearcherID: J-5665-2018. ORCID: 0000-0003-2091-905X.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vetchin@krc.karelia.ru

**VETCHINNIKOVA Lidya V.** – DSc (Biology), Chief Researcher, Laboratory for Forest Biotechnology, Forest Research Institute, Karelian Research Center of the RAS;

185910. Pushkinskaya str. 11. Petrozavodsk. Russia;

Leading Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor. SPIN-code: 7683-6378, ResearcherID: J-5665-2018. ORCID: 0000-0003-2091-905X.

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: vetchin@krc.karelia.ru

**ПОТОКИНА Елена Кирилловна** – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук. ResearcherID: AAN-1726-2020. Scopus AuthorID: 6603633906. ORCID: 0000-0002-2578-6279.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: e.potokina@yahoo.com

**ПОТОКИНА Elena K.** – DSc (Biological), Professor, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 7270-0032. ResearcherID: AAN-1726-2020. Scopus AuthorID: 6603633906. ORCID: 0000-0002-2578-6279.

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: e.potokina@yahoo.com

**ЖИГУНОВ Анатолий Васильевич** – заведующий кафедрой лесных культур Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. SPIN-код: 6704-5792. ORCID: 0000-0001-8707-7526.

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

**ZHIGUNOV Anatolii V.** – DSc (Agriculture), Head of the Department of Forest Crops, St.Petersburg State Forest Technical University, Professor. SPIN-code: 6704-5792. ORCID: 0000-0001-8707-7526.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.zhigunov@bk.ru

**О.Д. Пожарская, Ю.В. Хомяков, Т.Н. Данилова, К.М. Кляус**

## **ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ В НИХ СУПЕРАБСОРБИРУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ**

*Введение.* В связи с глобальными изменениями климата, которые влекут за собой перераспределение внутригодового выпадения осадков, появляются продолжительные периоды засухи, не свойственные данной территории ранее, что непосредственно влияет на водообеспеченность сельскохозяйственных культур. Для решения этой проблемы созданы различные технологии обработки и разработаны функциональные материалы. Одними из таких материалов являются суперабсорбирующие полимеры, или гидрогели. Многие исследования доказывают, что гидрогели благоприятно влияют на урожайность сельскохозяйственных посевов благодаря своей способности впитывать воду в объеме, превышающем свой собственный в несколько десятков раз, тем самым удерживая влагу в корнеобитаемом слое, не давая ей испаряться и стекать в более глубокие слои почвы. Вода, накопленная гидрогелем, постепенно отдается растению, что помогает ему бороться с засухой. Гидрогели в целом могут изменять свойства почвы, создавая крупные агрегаты, не давая ветру разносить частицы почвы, что предоставляет возможность использовать гидрогели для борьбы с эрозией почвы. Так как гидрогели вносятся в почву без возможности извлечь их оттуда, необходимо провести всестороннее исследование их поведения в почве и большое внимание уделить особенностям протекания процесса деструкции гидрогелей.

Полиакриламид является общим названием широкого класса соединений. Существуют сотни формул полиакриламида, которые различаются по длине полимерной цепи, количеству и видам функциональных групп и т.д. Полиакриламид, синтезированный с помощью сшивок, водонерастворим и при этом способен поглощать воду [Sojka et al., 2007].

Процесс деградации в почве связан с активностью микроорганизмов и ферментов. До настоящего времени микробная деградация полиакриламидных и полиакрилатных гелей остается недостаточно исследованной. Немногочисленные сведения о штаммах бактерий, разлагающих полиакриламид, подтверждают возможность использования микроорганизмами

этого полимера как источника углерода и азота и его полной утилизации [Максимова и др., 2023; Oksińska et al., 2019]. В исследовании [Stahl et al., 2000] проводили эксперимент по биодеградации двух суперабсорбирующих полимеров – сшитого нерастворимого полиакрилата и нерастворимого сополимера полиакрилата/полиакриламида. Было показано, что почвенные микроорганизмы не смогли минерализовать ни один полимер без предварительной обработки. Запустить процесс биодеградации способен грибок белой гнили *Phanerochaete chrysosporium* Burds. Грибок сольбилизировал полимеры, а почвенные микроорганизмы стимулировали минерализацию. В другом исследовании сообщалось, что полиакрилатные гидрогели практически не подвергаются биодеградации, и основная цепь полиакрилата разлагается в суглинистых почвах со скоростью не более 0,12-0,24% за 6 месяцев [Wilske et al., 2014]. Напрямую изучение деградации гидрогелей по потере массы является маловероятным, потому что гидрогели, впитывая влагу, становятся гелеобразными, и в процессе эксперимента происходит потеря материала, поэтому изучение деградации возможно по косвенным признакам. Биодеградация гидрогелей влияет на биологическую активность почвы, которую можно оценить по состоянию микробного сообщества, его дыханию и активности ферментов.

Целью исследования является оценка состояния микробного сообщества сельскохозяйственной почвы при инкубации с гидрогелями разных марок в течение 30 дней при постоянной температуре.

*Материалы и методика исследования.* Для эксперимента были выбраны три марки гидрогелей:

- Ритин-10 представляет собой сшитый сополимер полиакриламида. Синтезирован посредством внешнего воздействия ионизирующего излучения. 1 г гидрогеля удерживает около 300 мл воды, доступность влаги для растений – 95%, производительность в почве – до 5 лет;
- Aquasorb (Франция) – суперабсорбент на основе анионного полиакриламида, представляет собой нерастворимый в воде сшитый сополимер акриламида и акрилата калия. Абсорбент слабо подвержен биодеградации, не гидролизуются, не биоаккумулируются. 1 г удерживает около 400 мл воды. Производительность в почве – до 5 лет;
- В-415К – сшитый сополимер акриламида акриловой кислоты, калийная соль. 10 г вещества поглощает 400 г воды. Отечественный производитель. Свойства гранул в почве стабильны до 5 лет [Данилова, Табынбаева, 2019].

Гидрогели вносили в образцы дерново-подзолистой супесчаной почвы, отобранной в Меньковском филиале Агрофизического научно-исследовательского института в Ленинградской области. Всего в эксперименте закладывали 4 группы образцов: 10 контрольных образцов, 10 проб с гидрогелем марки «Ритин-10», 10 образцов с гидрогелем марки «Aquasorb», 10 образцов с гидрогелем марки «В-415К». Для активации микроорганизмов почву увлажняли до влажности структурообразования. Образцы инкубировали в термостате при 28°C. Каждые три дня из термостата извлекали по одному образцу из каждой группы. Таким образом, для последних четырех проб время инкубирования составило 30 дней. В извлеченных образцах измеряли базальное дыхание (далее – БД), активность фермента уреазы, рассчитывался углерод микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) с помощью метода субстрат-индуцированного дыхания (СИД) и микробный метаболический коэффициент ( $q\text{CO}_2$ ).

Измерение выделяемого  $\text{CO}_2$  проводили с помощью газового хроматографа Кристалл-2000.

Для определения скорости базального дыхания (БД) 10 г высушенной на воздухе почвы увлажнили водой до влажности структурообразования, поместили во флакон объемом 60 мл, герметично закрыли и поместили в термостат на 24 ч при постоянной температуре 22 °С, после чего определили концентрацию  $\text{CO}_2$  в газовой фазе и рассчитали БД, выражая его в  $\text{мг CO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$

Активность фермента уреазы определяли аналогичным способом, вводя в подготовленный образец карбамид (мочевину) (0,05 мл/г) и инкубируя 2 ч при температуре 35 °С. Активность уреазы выражали в  $\text{мг CO}_2/(\text{кг}\cdot\text{сут.})$ .

СИД почвы оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения почвы дополнительным источником энергии – глюкозой. В почвенный образец добавляли 0,5 мл раствора глюкозы, результирующая концентрация которой составляла 0,1 г на 10 мл, герметично закрывали и фиксировали время. Обогащенный глюкозой образец почвы инкубировался 2 ч при температуре 28 °С. Скорость СИД выражали в  $\text{мг CO}_2/(\text{кг}\cdot\text{сут.})$ . Скорость СИД выражали в  $\text{мг CO}_2/(\text{кг}\cdot\text{сут.})$ .

Углерод микробной биомассы ( $C_{\text{мик}}$ ) почвы рассчитывали по формуле (1):

$$C_{\text{мик}} \left( \frac{\text{мгС}}{\text{кг}} \text{почвы} \right) = \text{СИД} \left( \frac{\text{мгCO}_2}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \times 40,04 + 0,37. \quad (1)$$

Удельное дыхание микробной биомассы, или микробный метаболический коэффициент ( $q\text{CO}_2$ ) рассчитывали как отношение (2):

$$q\text{CO}_2 = \frac{\text{БД}}{C_{\text{мик}}} \quad (2)$$

согласно [Завьялова и др., 2020; Anderson, Domsch, 1978].

*Результаты исследования.* Почвенные микроорганизмы – это обязательный компонент любого биогеоценоза, который выполняет многочисленные функции [Дмитракова, Абакумов, 2016]. Количество микроорганизмов в 1 г окультуренной почвы может превышать  $10^9$  клеток. В обрабатываемой почве основная функция микроорганизмов сводится к поддержанию оптимального питательного режима для сельскохозяйственных растений [Казакова, 2009]. Микроорганизмы, растения и почвенная биота синтезируют и выделяют в почвенную среду ферменты, которые становятся неотъемлемой частью активного компонента экосистемы, так как с помощью ферментов органическое вещество почвы и остатки биоты распадаются на промежуточные либо конечные продукты минерализации, образуя доступные питательные вещества для микроорганизмов и растений [Хазиев, 2015].

Базальное дыхание рассматривается как продуцирование  $\text{CO}_2$  микроорганизмами почвы. Важным показателем, характеризующим плодородие почв, является углерод микробной биомассы. Еще в прошлом веке был разработан метод достаточно точного определения содержания микробного углерода, ставший классическим – физиологический метод определения микробной биомассы, или метод субстрат-индуцированного дыхания. Метод основан на постулате, что при первоначальном увеличении дыхания почвы после внесения глюкозы количество выделяемого  $\text{CO}_2$  прямо пропорционально содержанию углерода в живой биомассе [Благодатский, Благодатская, 2005].

Полученные значения в почвенных образцах с разными марками гидрогелей отличаются по некоторым статистическим параметрам: среднему значению и размаху вариации (разбросу значений), что хорошо заметно на графике распределения значений концентраций (рис. 1). Минимальное и максимальное значения концентрации  $\text{CO}_2$  в пробах с Aquasorb равны 160 и 243  $\text{мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$ , пробы с данным видом гидрогеля имеют наибольший размах значений по сравнению с другими образцами. Наименьший размах значений имеют образцы с В-415К: минимальное значение равно 190, а максимальное – 235  $\text{мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$  У образцов с Ритином-10 минимальное и максимальное значения равны 185 и 264  $\text{мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$ , у контрольных образцов – 206 и 265  $\text{мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$

Концентрация  $\text{CO}_2$  в контрольных пробах менялась незначительно на протяжении всего времени инкубирования, за исключением 12-го дня, где зафиксирована минимальная концентрация –  $206 \text{ mgCO}_2/\text{kg}^*\text{сут.}$  Через 30 дней, то есть в последний день инкубирования, концентрация  $\text{CO}_2$  в контроле снизилась на 7% от значения концентрации в начале эксперимента и составила  $247 \text{ mgCO}_2/\text{kg}^*\text{сут.}$  В образцах почвы с гидрогелями марок «Aquaorb» и «Ритин-10» концентрации  $\text{CO}_2$  в конце эксперимента снизились на 28% и 30% и составили 174 и 185  $\text{mgCO}_2/\text{kg}^*\text{сут.}$  соответственно. Значение концентрации в пробах с гидрогелем марки «B-415K» в конце месяца увеличилось на 4% и составило  $235 \text{ mgCO}_2/\text{kg}^*\text{сут.}$  (рис. 2).

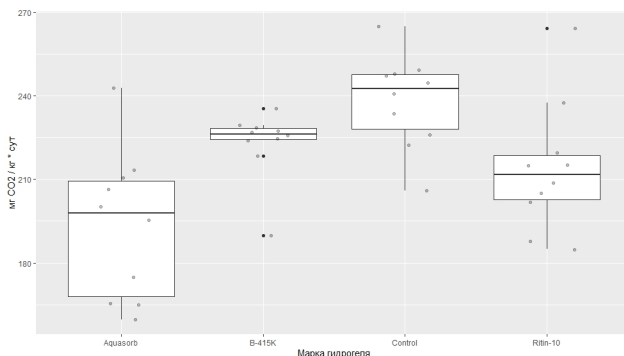


Рис. 1. График плотности распределения значений концентраций  
 Fig. 1. Plot of distribution density of concentration values

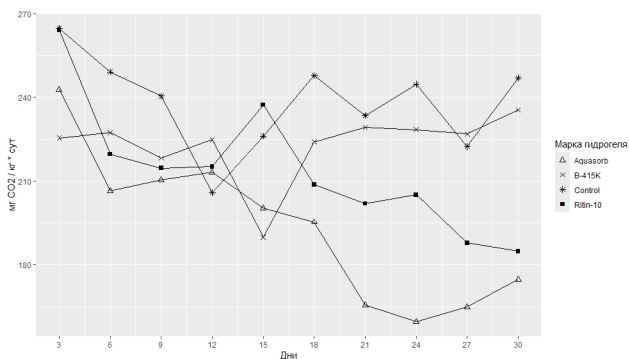


Рис. 2. График концентраций  $\text{CO}_2$  ( $\text{mgCO}_2/\text{kg}^*\text{сут.}$ ) в зависимости от вида гидрогеля и времени инкубации  
 Fig. 2. Plot of  $\text{CO}_2$  concentrations ( $\text{mgCO}_2/\text{kg}^*\text{сут.}$ ) depending on hydrogel type and incubation time

Уреаза является одним из наиболее изученных ферментов. Активность уреазы – это один из основных показателей биологической активности почвы. Уреаза непосредственно не участвует в процессе разложения полимеров, ее активность зависит от количества азотсодержащих соединений, образующихся в процессе разложения какого-либо вещества, например, гидрогелей, другими микроорганизмами.

На рис. 3 представлен график активности уреазы по количеству выделяемого  $\text{CO}_2$ . Наибольшая активность наблюдается в контрольных образцах, также здесь зафиксирован большой разброс значений – от минимального  $14,6 \text{ мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$  до максимального  $89,5 \text{ мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$  – на 30-й день. У проб с гидрогелями активность уреазы ниже контрольных, но в целом тенденция к увеличению активности фермента наблюдалась в образцах всех исследуемых видов гидрогелей. Наименьшая активность и меньший разброс значений, вероятнее всего, связаны с присутствием в почве гидрогеля, который впитал часть мочевины, внесенной для активизации работы фермента. Среди проб с гидрогелями наибольший размах значений – у проб почвы с Ритином-10, от минимального  $11,5 \text{ мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$  до максимального  $42 \text{ мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$  на 30-й день. У проб с Aquasorb и В-415К размах значений приблизительно одинаковый. У проб с гидрогелями значения медианы незначительно отличаются: пробы с Ритином-10 –  $28,2 \text{ мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$ ; Aquasorb –  $27,7 \text{ мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$ ; В-415К –  $28,7 \text{ мгCO}_2/\text{кг}\cdot\text{сут.}$

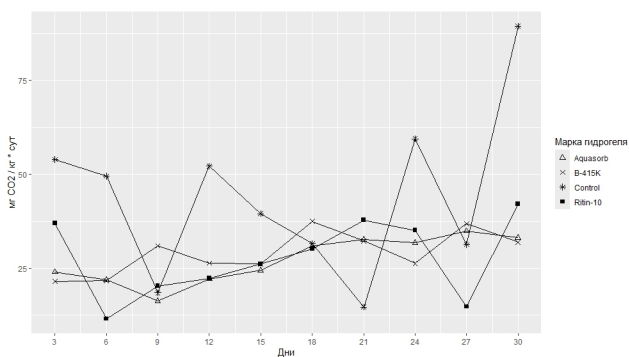


Рис. 3. Активность фермента уреазы по количеству выделяемого  $\text{CO}_2$  в течение 30 дней инкубирования

Fig. 3. Urease enzyme activity by the amount of  $\text{CO}_2$  released during 30 days of incubation

Полученные с помощью метода субстрат-индуцированного дыхания результаты значений углерода микробной биомассы коррелируют с полученными данными для базального дыхания. В образцах почвы с гидрогелем В415-К микробная биомасса имеет минимальное содержание на 15-й день эксперимента, а в последующие дни происходит ее рост. С 3-го дня эксперимента и по 30-й день микробная биомасса увеличилась на 31% и составила 29 002 мгСО<sub>2</sub>/кг\*сут. В остальных образцах с гидрогелями и в контрольных микробная биомасса снизилась за 30 дней инкубирования: для проб с Ритином-10 и Aquasorb – на 15%, для контрольных – на 4% (рис. 4).

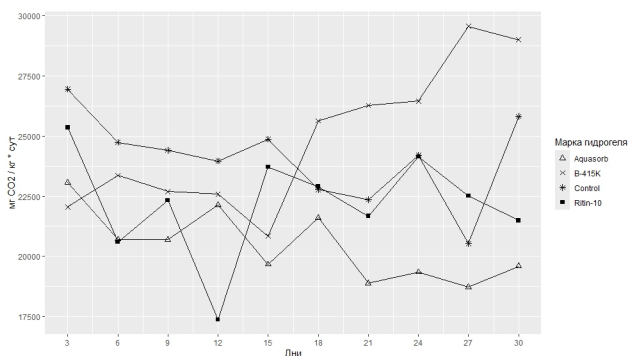


Рис. 4. Изменение биомассы микроорганизмов по количеству выделяемого СО<sub>2</sub> в течение 30 дней инкубирования

Fig. 4. Change in microbial biomass by the amount of CO<sub>2</sub> released during 30 days of incubation

Микробный метаболический коэффициент (qCO<sub>2</sub>) – это интегральный показатель биологического состояния почв. Он отражает изменение базального дыхания и микробной биомассы почвы: чем ниже значение, тем лучше состояние микробного сообщества. В контрольных образцах наблюдается увеличение значения показателя к 30-му дню, у проб с гидрогелями этот показатель снижается (рис. 5). Все образцы почвы с гидрогелями улучшили состояние почвенных микроорганизмов. Для всех проб с гидрогелями заметное снижение показателя, а, соответственно, улучшение состояния микробиоты произошло между 15-м и 18-м днем эксперимента.

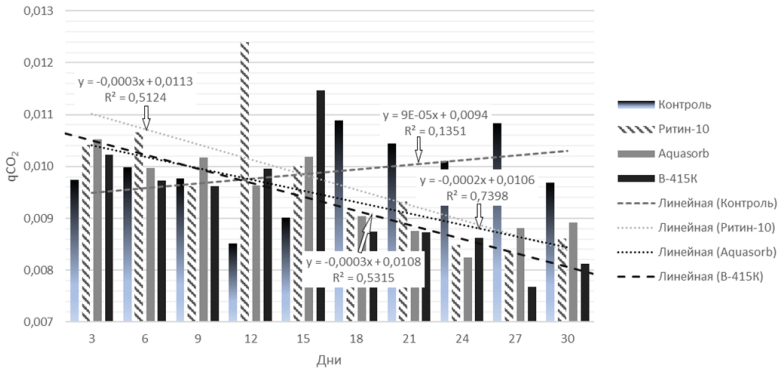


Рис. 5. Изменение микробного метаболического коэффициента  
 Fig. 5. Change in microbial metabolic quotient

В табл. 1 приводятся полученные аппроксимационные зависимости концентрации диоксида углерода, активности фермента уреазы и биомассы микроорганизмов как степенные функции дня в пределах месячного интервала. Расчетные формулы дают возможность получить качественную и количественную оценку исследуемых параметров.

Таблица 1

**Зависимости для расчетного прогноза базального дыхания, активности фермента уреазы и биомассы микроорганизмов в течение 30 дней инкубирования**

**Dependencies for the calculated prediction of basal respiration, urease enzyme activity and microbial biomass during 30 days of incubation**

Наименование исследуемого параметра	Марка гидрогеля		
	Ритин-10	Aquasorb	B-415K
Базальное дыхание по количеству выделяемого CO <sub>2</sub> (рис. 2)	$y_1 = 293,12x^{-0,123}$ $R^2 = 0,7291$	$y_1 = 295,77x^{-0,166}$ $R^2 = 0,7875$	$y_1 = 217,70x^{0,0086}$ $R^2 = 0,0115$
Активность фермента уреазы по количеству выделяемого CO <sub>2</sub> (рис. 3)	$y_2 = 18,345x^{0,1293}$ $R^2 = 0,0561$	$y_2 = 14,481x^{0,2322}$ $R^2 = 0,5943$	$y_2 = 17,01x^{0,1999}$ $R^2 = 0,4988$
Изменение биомассы микроорганизмов по количеству выделяемого CO <sub>2</sub> (рис. 4)	$y_3 = 23024x^{-0,016}$ $R^2 = 0,0121$	$y_3 = 24718x^{-0,074}$ $R^2 = 0,5883$	$y_3 = 18124x^{0,1185}$ $R^2 = 0,5202$

Примечание:  $y_1$  – базальное дыхание (мгCO<sub>2</sub>/кг\*сут.);  $y_2$  – активность фермента уреазы (мгCO<sub>2</sub>/кг\*сут.);  $y_3$  – биомасса микроорганизмов (мгCO<sub>2</sub>/кг\*сут.);  $x$  – день месяца ( $1 \leq x \leq 30$ )

Стоит отметить, что в начале эксперимента все исследуемые параметры в образцах почвы с гидрогелями уступают контролю. Базальное дыхание и активность фермента уреазы на 3-й день эксперимента имеют наибольшие значения в контрольных образцах. Гидрогели впитывают воду, глюкозу и мочевины, которые добавляли в процессе эксперимента. Тем самым мы получали более низкий отклик микроорганизмов по сравнению с контролем. Минимальный разброс значений базального дыхания в образцах с В-415К говорит о том, что гидрогель в течение месяца более равномерно отдавал воду, что проявилось в слабом колебании значений в течение всего эксперимента. Ритин-10 и Aquasorb в начале эксперимента имели более высокие показатели базального дыхания, но в дальнейшем значения начали снижаться. В образцах с Aquasorb были отмечены минимальные значения базального дыхания, полученные в эксперименте на 18-й день. Они продолжали снижаться до 24-го дня, затем снова стали расти. Увеличение биомассы микроорганизмов в образцах с В-415К можно объяснить двумя способами: гидрогель имеет хорошую структуру, что помогает ему установить и сохранять определенный уровень влажности, обеспечивающий благоприятную среду для микроорганизмов; химическая структура гидрогеля оказалась менее устойчивой, и микроорганизмы получили дополнительный источник углерода и азота, что способствовало наращиванию биомассы.

*Заключение.* В целом за 30 дней эксперимента обнаружено положительное влияние гидрогелей на сообщество почвенных микроорганизмов. В данном эксперименте невозможно достоверно установить, становится ли гидрогель доступен для микроорганизмов как источник необходимых для жизнедеятельности элементов, но его наличие в почве улучшает состояние микроорганизмов, а в случае с гидрогелем марки «В-415К» еще и способствует увеличению их биомассы.

*Вклад авторов.* Пожарская О.Д. – сбор данных литературы, проведение анализов и обработка полученных данных; Хомяков Ю.В. – обоснование концепции исследования, постановка эксперимента; Данилова Т.Н. – обоснование концепции исследования, формулировка задачи исследований; Кляус К.М. – обработка полученных данных.

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

### **Библиографический список**

*Благодатский С.А., Благодатская Е.В.* Определение содержания микробного углерода в почве на основе дыхательного отклика микроорганизмов на внесение глюкозы // Методы исследований органического вещества почв. Владимир, 2005. С. 385-400.

Данилова Т.Н., Табынбаева Л.К. Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в разных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 1. С. 76-83. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.76rus.

Дмитракова Я.А., Абакумов Е.В. Микробная биомасса и базальное дыхание карьерно-отвалных комплексов с различными субстратами // Живые и биокосные системы. 2016. № 16. Ст. 9.

Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Фомин Д.С. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2020. № 3. С. 372-378. DOI: 10.31857/S0032180X20030120.

Казакова Н.А. Функциональное биоразнообразие почвенных микроорганизмов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2009. № 1 (8). С. 27-29.

Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 1. С. 23-42. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.23rus.

Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20, № 2 (78). С. 14-24.

Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10, no. 3. P. 215–221. DOI: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.

Oksińska M.P., Magnucka E.G., Lejcuś K., Jakubiak-Marcinkowska A., Ronka S., Trochimczuk A.W., Pietr S.J. Colonization and biodegradation of the cross-linked potassium polyacrylate component of water absorbing geocomposite by soil microorganisms // Applied Soil Ecology. 2019. Vol. 133. P. 114-123. DOI: 10.1016/j.apsoil.2018.09.014.

Sojka R.E., Bjerneberg D.L., Entry J.A., Lentz R.D., Orts W.J. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management // Advances in agronomy. 2007. Vol. 92. P. 75-162. DOI: 10.1016/S0065-2113(04)92002-0.

Stahl J.D., Cameron M.D., Haselbach J., Aust S.D. Biodegradation of superabsorbent polymers in soil // Environmental Science and Pollution Research. 2000. Vol. 7. P. 83-88. DOI: 10.1065/espr199912.014.

Wilske B., Bai M., Lindenstruth B., Bach M., Rezaie Z., Frede H.G., Breuer L. Biodegradability of a polyacrylate superabsorbent in agricultural soil // Environmental Science and Pollution Research. 2014. Vol. 21. P. 9453-9460. DOI: 10.1007/s11356-013-2103-1.

## References

Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 1978, vol. 10, no. 3, pp. 215–221. DOI: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.

Blagodatskiy S.A., Blagodatskaya E.V. Determination of microbial carbon content in soil based on respiratory response of microorganisms to glucose application. *Methods of soil organic matter research*. Vladimir, 2005, pp. 385-400. (In Russ.)

Danilova T.N., Tabynbayeva L.K. Polymer gels to manage water availability for wheat (*Triticum aestivum* L.) under various environment conditions. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2019, vol. 54, no. 1, pp. 76–83. DOI: 10.15389/agrobiol.2019.1.76rus. (In Russ.)

Dmitrakova Ia.A., Abakumov E.V. Microbial biomass and basal soil respiration of quarry-dumps systems with different substrates. *Live and bio-abiotic systems*, 2016, no. 16, art. no. 9. (In Russ.)

Kazakova N.A. Functional biodiversity of soil microorganisms. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2009, no. 1 (8), pp. 27–29. (In Russ.)

Khaziev F.Kh. Functional role of enzymes in soil processes. *Vestnik of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2015, vol. 20, no. 2 (78), pp. 14-24. (In Russ.)

Maksimova Yu.G., Shchetko V.A., Maksimov A.Yu. Polymer hydrogels in agriculture (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2023, vol. 58, no. 1, pp. 23-42. DOI: 10.15389/agrobiol.2023.1.23rus. (In Russ.)

Oksińska M.P., Magnucka E.G., Lejcuś K., Jakubiak-Marcinkowska A., Ronka S., Trochimczuk A.W., Pietr S.J. Colonization and biodegradation of the cross-linked potassium polyacrylate component of water absorbing geocomposite by soil microorganisms. *Applied Soil Ecology*, 2019, vol. 133, pp. 114-123. DOI: 10.1016/j.apsoil.2018.09.014.

Sojka R.E., Bjorneberg D.L., Entry J.A., Lentz R.D., Orts W.J. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Advances in agronomy*, 2007, vol. 92, pp. 75-162. DOI: 10.1016/S0065-2113(04)92002-0.

Stahl J.D., Cameron M.D., Haselbach J., Aust S.D. Biodegradation of superabsorbent polymers in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2000, vol. 7, pp. 83-88. DOI: 10.1065/espr199912.014.

Wilske B., Bai M., Lindenstruth B., Bach M., Rezaie Z., Frede H.G., Breuer L. Biodegradability of a polyacrylate superabsorbent in agricultural soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, vol. 21, pp. 9453-9460. DOI: 10.1007/s11356-013-2103-1.

Zavyalova N.E., Vasbieva M.T., Fomin D.S. Microbial biomass, respiratory activity and nitrogen fixation in soddy-podzolic soils of the Pre-Urals Area under various agricultural uses. *Soil Science*, 2020, no. 3, pp. 372-378. DOI: 10.31857/S0032180X20030120. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 13.05.2025

**Пожарская О.Д., Хомяков Ю.В., Данилова Т.Н., Кляус К.М.** Изменение биологической активности почв при внесении в них суперабсорбирующих полимеров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 126–139. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.126-139

В связи с глобальными изменениями климата, которые влекут за собой перераспределение внутригодового выпадения осадков, появляются продолжительные периоды засухи, не свойственные данной территории ранее, что непосредственно влияет на водообеспеченность сельскохозяйственных культур. Для решения этой проблемы созданы различные технологии обработки и разработаны функциональные материалы. Одними из таких материалов являются суперабсорбирующие полимеры, или гидрогели. Многие исследования доказывают, что гидрогели благоприятно влияют на урожайность сельскохозяйственных посевов, благодаря своей способности впитывать воду в объеме, превышающем свой собственный в несколько десятков раз, тем самым удерживая влагу в корнеобитаемом слое, не давая ей испаряться и стекать в более глубокие слои почвы. В эксперименте использовали три вида гидрогелей: «Ритин-10», «Aquasorb», «B415-K» – и дерново-подзолистую почву из Меньковского филиала Агрофизического института в Ленинградской области. Микробный метаболический коэффициент ( $qCO_2$ ) – это интегральный показатель биологического состояния почв. Он отражает изменение базального дыхания и микробной биомассы почвы: чем ниже значение, тем лучше состояние микробного сообщества. В контрольных образцах наблюдалось увеличение значения показателя к 30-му дню, у проб с гидрогелями этот показатель снизился. Для всех проб с гидрогелями заметное снижение показателя, а, соответственно, улучшение состояния микробиоты произошло между 15-м и 18-м днем эксперимента. В данном эксперименте невозможно достоверно установить, становится ли гидрогель доступен для микроорганизмов как источник необходимых для жизнедеятельности элементов, но его наличие в почве улучшает состояние микроорганизмов, а в случае с гидрогелем марки «B-415K» способствует увеличению их биомассы.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, дыхание почвы, гидрогель, суперабсорбент, ферменты.

**Pozharskaya O.D., Khomyakov Yu.V., Danilova T.N., Klyaus K.M.** Changes in the biological activity of soils when adding superabsorbing polymers to them. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 126–139 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.126-139

Due to global climate change, which entails redistribution of intra-annual precipitation, there are continuous periods of draught, which were not typical for this

territory before, which directly affects the water availability of agricultural crops. The solution of this problem is in development of various technologies and functional materials. One of such materials are superabsorbent polymers or hydrogels. Many studies prove that hydrogels favorably affect the yield of agricultural crops, due to their ability to absorb water in a volume exceeding its own in several tens of times, thereby retaining moisture in the root layer, preventing it from evaporating and flowing to deeper layers of soil. Three types of hydrogels were used in the experiment: «Ritin-10», «Aquasorb», «B415-K» – and sod-podzolic soil from the Menkovo branch of the Agrophysical Institute in the Leningrad region. Microbial metabolic coefficient ( $qCO_2$ ) is an integral indicator of the biological state of soils. It reflects the change in basal respiration and microbial biomass of the soil: the lower the value is, the better the condition of the microbial community is. In the control samples there was an increase in the value of the indicator by day 30, in the samples with hydrogels this indicator decreased by day 30. For all samples with hydrogels there was a noticeable decrease in the index and, consequently, an improvement in the state of microbiota occurred between day 15 and 18 of the experiment. In this experiment, is impossible to reliably establish whether hydrogel becomes available for microorganisms as a source of elements necessary for life activity, but its presence in the soil improves the state of microorganisms, and in case of hydrogel «B415-K» also contributes to the increase of biomass of microorganisms.

**Key words:** microorganisms, soil respiration, hydrogel, superabsorbent, enzymes.

---

**ПОЖАРСКАЯ Олеся Дмитриевна** – аспирант кафедры общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

младший научный сотрудник Санкт-Петербургского научного центра РАН.  
AuthorID: 1143289.

199034, Университетская наб., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: olesyapozharskaya@yandex.ru

**POZHARSKAYA Olesya D.** – PhD student, Department of Ecology, Anatomy and Physiology of Plants, St.Petersburg State Forest Technical University;

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Junior Researcher, Saint Petersburg Research Center of the RAS. AuthorID: 1143289.

199034. Universitetskaya emb. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: olesyapozharskaya@yandex.ru

**ХОМЯКОВ Юрий Викторович** – доцент кафедры общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;  
заведующий лабораторией биохимии почвенно-растительных систем Агрофизического научно-исследовательского института, кандидат биологических наук. AuthorID: 601515.

195220, Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, Россия.

**KHOMYAKOV Yuriy V.** – PhD (Biological), Associate Professor, Department of Ecology, Anatomy and Physiology of Plants, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;  
Head of the Laboratory of Biochemistry of Soil and Plant Systems, Agrophysical Research Institute. AuthorID: 601515.

195220. Grazhdanskiy av. 14. St. Petersburg. Russia.

**ДАНИЛОВА Татьяна Николаевна** – ведущий научный сотрудник лаборатории агроклимата Агрофизического научно-исследовательского института, доктор биологических наук. AuthorID: 672048.

195220, Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, Россия.

**DANILOVA Tatyana N.** – DSc (Biological), Leading Researcher, Laboratory of Agro-climate, Agrophysical Research Institute. AuthorID: 672048.

195220. Grazhdanskiy av. 14. St. Petersburg. Russia.

**КЛЯУС Константин Михайлович** – старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научного центра РАН. ORCID: 0000-0001-9916-5101.

199034, Университетская наб., д. 5, Санкт-Петербург, Россия.

**KLYAUS Konstantin M.** – Senior Researcher, Saint Petersburg Research Center of the RAS. ORCID: 0000-0001-9916-5101.

199034. Universitetskaya emb. 5. St. Petersburg. Russia.

**Н.А. Неверов, Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова, О.Н. Тюкавина**

## **СОСТАВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСОВ В ТЕКТОНИЧЕСКИХ УЗЛАХ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Введение.* Разломы земной коры, в особенности их пересечения – тектонические узлы (далее узлы), являются наиболее активным структурообразующим элементом литосферы. При увеличении количества пересекающихся разломов степень раздробленности и проницаемости узла возрастает [Волчанская, Сапожникова, 1990], что приводит к возникновению вертикальной высокопроницаемой области, которая обеспечивает коромантийное взаимодействие и постоянный приток флюидов и глубинных газов, т.е. возникает глубинный стволочный канал повышенного теплообмена [Кутинов, Чистова, 2012]. В данной области формируются гравитационные и магнитные аномалии [Ларкина и др., 1998; Экология..., 2006; Handy et al., 2007]; изменяется характер облачности [Морозова, 2005]; наблюдается глубинная дегазация [Летников, 1992; Сывороткин, 2002] и подток глубинных минерализованных вод [Коротков и др., 2007]; развиваются эрозионные процессы, связанные с экспозицией и углом наклона склонов, коррелирующих с простиранием разломов [Кутинов и др., 2020]. Вышеперечисленные особенности тектонических узлов приводят к повышению содержания макро- и микроэлементов в почвах [Боярских и др., 2018], витамина С в ягодах брусники [Беляев, Старицын, 2012], микроэлементов в лишайниках [Паламарчук и др., 2018; Belyaev et al., 2019], изменению в микроструктуре древесины сосны [Беляев, Неверов, 2016], а также цитогенетическим нарушениям в растениях [Боярских, Куликова, 2017; Боярских и др., 2020].

В узлах тектонических разломов формируются комплексные аномалии, выраженные в геофизических, метеорологических, геохимических, геологических и иных параметрах. Учитывая их интенсивность, многие из этих аномалий могут оказывать значимое воздействие на биологические системы различного иерархического уровня, и, вероятно, для таких территорий характерны особые закономерности накопления, миграции и физико-химической трансформации загрязняющих веществ, простран-

ственного распределения и динамики биоценозов, а также видового состава биоты.

*Цель работы* – изучение влияния тектонических узлов на формирование породного состава и продуктивности лесов Архангельской области.

*Материалы и методика исследования.* Выделение тектонических узлов было проведено по методике К.Ф. Тяпкина [Тяпкин, Кивелюк, 1982] по комплексу геолого-геофизических признаков (гравитационные и магнитные аномалии, карты гидросети и мезорельефа). На территории региона исследования тектонические узлы выделены Ю.Г. Кутиновым [Кутинов и др., 2020]. Выделенные тектонические нарушения сопоставлялись с данными сейсморазведки и аэроэлектроразведки для отбраковки поверхностных структур, что позволяло не только оценить глубинность структур, но и отсеять поверхностные формы. Исследуемые узлы имеют различную степень нарушенности земной коры, что показано на рис. 1 в виде изолиний; минимальная степень – 2, максимальная – 6. Условно выделены центр узла с максимальной степенью раздробленности земной коры и периферия – с минимальной. Всего исследовалось 3 узла, имеющих значительную площадь и раздробленность земной коры (рис. 1).

Для исследования породного состава и продуктивности лесов использовались материалы лесоустройства за 1995 г. На растровый план лесоустройства был наложен векторный слой с контурами тектонических узлов. Затем в каждой зоне узла проводился подсчет площадей основных лесообразующих пород, представленных следующими видами: ель – *Picea abies* (L.) Н. Karst. и *Picea obovata* Ledeb.; сосна – *Pinus sylvestris* L.; береза – *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh. (табл. 1). Подсчет преобладающей породы проведен на площади 11000 км<sup>2</sup>. На основе глобальной цифровой модели рельефа ASTER GDEM в SAGA GIS рассчитывали средние высоты, углы наклона и расчлененность рельефа дневной поверхности (табл. 1).

В Вельско-Устьянском узле изучена продуктивность древостоев с преобладанием сосны. Для этого подбирали однотипные по составу, условиям местопроизрастания, возрасту и классу бонитета выдела в центре, на периферии и за пределами узла на севере, западе, юге и востоке относительно центра узла. Выделенные древостои сравнивали между собой по высоте и диаметру (табл. 2).

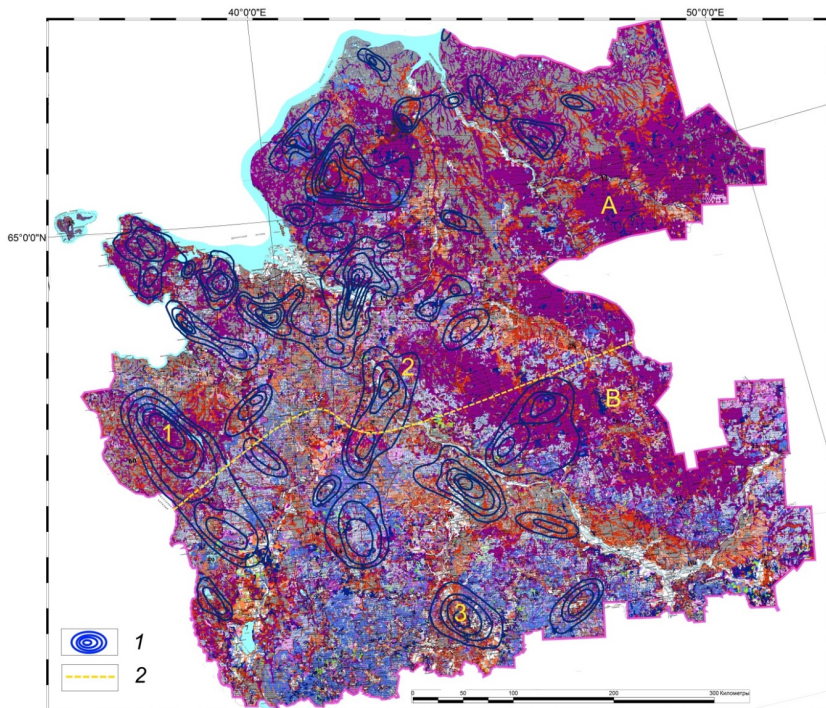


Рис. 1. Схема расположения исследуемых тектонических узлов. 1- тектонические узлы (1 – Кожезерский; 2 – Емецкий; 3 – Вельско-Устьянский); 2 – граница подзон тайги (А – подзона северной тайги; В – подзона средней тайги)

Fig. 1. The layout of the studied tectonic knots. Tectonic knots: 1 – Kozhezerskiy; 2 – Yemetskiy; 3 – Velsko-Ustyanskiy. 2 – boundary of taiga subzones (A – northern taiga; B – middle taiga)

Статистический анализ полученных данных проводился в Python (2.7.12, 2016), пакет SciPy (0.18.1, 2016).

**Результаты.** Площадь болот в узлах варьирует в пределах 19-30%, и только в Емецком узле во второй зоне доля болот достигает 60%. Состав лесов значительно изменяется в Кожезерском узле. В центре узла преобладают ельники (92%), к периферии их доля снижается до 50%, вместе с тем синхронно увеличиваются доли сосны и березы. В остальных узлах различия по породному составу между центром и периферией незначительные (табл. 1). В целом по породному составу ельники доминируют в Кожезерском и Емецком узлах, сосняки – в Вельско-Устьянском, что обусловлено природно-климатическими условиями и не нарушает зональных закономерностей.

Таблица 1

**Породный состав лесов и геоморфометрическая характеристика  
тектонических узлов**

**Forest species composition and geomorphometric characteristics in tectonic knots**

Узел	Зона	Доля болот от площади уровня, %	Доля насаждений от лесопокрытой площади зоны, %			Геоморфометрические параметры		
			Сосна	Ель	Береза	Высота, м	Угол наклона, °	Индекс расчлененности
Кожезерский	1	20	7	92	1	189	2,6	0,85
	2	22	20	76	4	175	2,4	0,80
	3	18	23	60	17	160	2,2	0,77
	4	19	28	50	22	154	2,1	0,67
Емецкий	1	30	52	26	22	17	2,0	0,72
	2	61	37	27	36	27	1,9	0,70
	3	22	44	40	15	32	1,7	0,65
	4	23	36	36	27	34	1,4	0,54
Вельско-Устьянский	1	19	60	15	24	84	2,6	0,82
	2	24	49	18	33	84	2,5	0,79
	3	25	47	18	35	83	2,4	0,77
	4	33	55	21	24	85	2,3	0,75

*Примечание:* зона 1 – центр узла; зона 4 – периферия узла

По геоморфометрическим характеристикам узлы различаются по высоте над уровнем моря. Различия по углам наклона склонов и индексу расчлененности незначительные (табл. 1).

Корреляционный анализ между геоморфометрическими параметрами и долей болот и основных лесообразующих пород выявил достоверные как прямые, так и обратные корреляции между высотой, углом наклона склонов и индексом расчлененности с ельниками, сосняками и березняками в Кожезерском узле, а также обратные корреляции доли болот с углом наклона и индексом расчлененности в Вельско-Устьянском узле (табл. 3).

Из табл. 2 видно, что в большинстве случаев в однотипных древостоях в центре узла высота и диаметр выше, чем на периферии и за пределами узла. На периферии высота и диаметр минимальны. Однако результаты дисперсионного анализа говорят о недостоверном и малом влиянии тектонических узлов на производительность сосны (табл. 4).

Таблица 2

**Таксационная характеристика сосняков в Вельско-Устьянском узле  
и за его пределами**

**Taxation characteristics of pine stands in the Velsk-Ustyansk knot and beyond**

Состав древосто- я	Воз- раст, лет	Класс боните- та	Тип леса	Центр	Периферия	Фон
				высота, м/ диаметр, см	высота, м/ диаметр, см	высота, м/ диаметр, см
4С2Е4Б	90	3	черничный	21/24	20/22	21/24
4С3Е3Б	85	3	черничный	18/20	19/22	20/24
5С2Е3Б	90	3	черничный	22/26	–	20/22
6С2Е2Б	85	2	черничный	24/26	20/22	22/24
6С3Е1Б	180	5	черничный	17/20	–	15/18
7С1Е2Б	85	3	черничный	21/22	–	20/20
9С1Б	85	3	черничный	20/24	–	20/22
9С1Б	90	3	черничный	22/26	–	20/22
9С1Б+Е	85	3	черничный	21/24	–	21/22
9С1Б+Е	90	3	брусничный	21/26	19/22	22/24
9С1Е+Б	90	3	брусничный	20/24	19/22	–
10С+Б	85	3	брусничный	21/26	–	20/22
10С+Б	95	3	черничный	21/22	–	20/24
10С+Б	110	5	долгомошный	16/18	–	13/16
10С	95	3	брусничный	–	20/22	20/22

*Обсуждение.* Кожезерский узел отличается от остальных наибольши-ми значениями индекса расчлененности, который служит для объективной количественной оценки разнородности (неоднородности) рельефа, выражает величину разницы высот между соседними ячейками и является одним из основных факторов, влияющих на энергию потока, емкость поверхностного накопления влаги, скорость стока и маршрутизацию в масштабе водосбора [Riley et al., 1999], что улучшает дренаж территории. Для северной тайги характерен избыток осадков и низкие температуры воздуха в вегетационный период. Улучшение дренажа приводит к снижению влажности почвы, улучшению аэрации, что повышает почвенное плодородие, в том числе за счет снижения вымывания подвижных форм К, Р. У ели узкий эдафический диапазон произрастания. В северной тайге преобладают ельники черничные (46,3%) и долгомошные (27,4%). Остальные 26,3% относятся к ельникам чернично-майниковым, травяно-кисличным,

майниковым, чернично-травяным и пойменным [Леса..., 1966]. Прямая корреляция доли ели со всеми геоморфометрическими параметрами говорит о прямом влиянии высоты, угла наклона на почвенное плодородие.

Таблица 3

**Корреляционный анализ по Спирмену между геоморфометрическими параметрами и долей лесообразующих пород и болот**

**The Spearman correlation coefficient of geomorphometric parameters and proportion of forest-forming species and marsh**

Узел	Геоморфометрические параметры	Болота	Лесообразующие породы		
			Сосна	Ель	Береза
Кожезерский	Высота	-0,6	-0,4	<b>0,9</b>	<b>-0,9</b>
	Угол наклона	-0,6	<b>-0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>-0,9</b>
	Индекс расчлененности	0,6	<b>-0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>-0,8</b>
Емецкий	Высота	-0,6	-0,8	0,8	0,0
	Угол наклона	0,6	0,8	-0,7	0,0
	Индекс расчлененности	0,6	0,8	-0,8	0,0
Вельско-Устьянский	Высота	0,3	0,6	0,5	-0,8
	Угол наклона	<b>-0,9</b>	0,2	-0,9	0,0
	Индекс расчлененности	<b>-0,9</b>	0,4	-0,9	-0,0

*Примечание:* достоверные при  $p < 0.05$  значения корреляции выделены жирным шрифтом

Таблица 4

**Дисперсионный анализ влияния тектонического узла на производительность сосны**

**One-away ANOVA test of the effect of tectonic knot on the height and diameter of pine trees**

	Достоверность влияния при $F_{st, 0,05} = 3,3$	Сила влияния
Высота	0,9	5,3
Диаметр	1,8	10,3

Обратная корреляция доли болот с углом наклона склонов и индексом расчлененности в Вельско-Устьянском узле, вероятно, связана с широким распространением по территории узла песчаных послеледниковых отложений, т.к. в геоморфометрическом плане Вельско-Устьянский узел усту-

пает Плесецкому, в котором таких закономерностей не выявлено. Незначительное повышение производительности сосняков в центре Вельско-Устьянского узла, вероятнее всего, связано с меньшим количеством как твердых, так и жидких атмосферных осадков, что подтверждено инструментальными исследованиями [Беляев и др., 2009]. Большая часть Вельско-Устьянского узла приурочена к долине р. Ваги, лишь северо-восточная часть расположена на западном склоне Устьянской возвышенности. Четвертичные отложения представлены озерно-ледниковыми песчаными отложениями разной зернистости, на которых сформировались подзолы иллювиально-железистые, а в понижениях рельефа образовались торфянисто- и торфяно-подзолисто-глееватые и глееватые иллювиально-гумусовые почвы<sup>1</sup>. Моренные пески на большей части территории на 98% состоят из оксида кремния, они бедны P, K, Ca, которые легко вымываются из почвы обильными осадками [Перельман, Касимов, 1999]. Снижение количества осадков в центре узла приводит к улучшению аэрации почвы и снижению степени выноса питательных веществ, что способствует повышению плодородности почвы и увеличению продуктивности сосняков.

Рельеф Емецкого узла наименее выражен, что не позволило выявить каких-либо закономерностей в породном составе и доле болот.

*Заключение.* Полученные данные позволяют предположить влияние тектонических узлов на Европейском Севере России на производительность хвойных насаждений, а их геоморфометрической составляющей – на распространение болот и ели в северной и сосны в средней подзонах тайги.

*Сведения о финансировании* исследования. Исследования проведены в рамках государственного задания № 125022502869-4 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН.

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

### **Библиографический список**

Беляев В.В., Неверов Н.А. О влиянии тектонических узлов на строение и свойства древесины сосны и ели в Архангельской области // Вестник КрасГАУ. 2016. № 4(115). С. 101-106.

Беляев В.В., Старицын В.В. Влияние тектонических узлов на изменение урожайности черники (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусники (*Vaccinium vitis-idea* L.)

---

<sup>1</sup> Атлас Архангельской области. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1976. 72 с.

в Архангельской области // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 2. С. 10-15.

Беляев В.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Хмара К.А. Влияние узлов пересечения тектонических дислокаций на характер выпадения осадков в лесных экосистемах // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные науки. 2009. № 2. С. 45-50.

Боярских И.Г., Куликова А.И. Изменчивость цитогенетических характеристик в популяции *Lonicera caerulea* (жимолости синей) в зоне активных разломов // Экологическая генетика. 2017. Т. 15, № 2. С. 62–70. DOI: 10.17816/ecogen15262-70.

Боярских И.Г., Агатова А.Р., Куликова А.И., Бакиянов А.И., Скапцов М.В., Мажейка Й. Комплексное геолого-геофизическое и ботаническое исследование зоны тектонического сочленения Катунского хребта и Уймонской впадины (Горный Алтай) // Геофизические процессы и биосфера. 2018. Т. 17, № 1. С. 45–76. DOI: 10.21455/GPB2018.1-3.

Боярских И.Г., Агатова А.Р., Сысо А.И., Ключевская А.И. Морфофункциональная реакция растений на изменение условий произрастания в зонах активных разломов Курайского хребта (Горный Алтай) // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19, № 2. С. 19-44. DOI: 10.21455/gpb2020.2-2.

Волчанская И.К., Сапожников Е.Н. Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 159 с.

Коротков Ю.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Возможности электроразведки при поисках кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки. 2007. № 2. С. 36–34.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Комплексная модель процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах Севера Русской плиты // Альманах «Пространство и Время». 2012. Т. 1, № 1.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Минеев А.Л. Применение цифровых моделей рельефа (ЦМР) для выделения тектонических структур древних платформ (на примере Северо-Запада Русской плиты). Пенза: Социосфера, 2020. 378 с.

Ларкина В.И., Мигулин В.В., Сергеева Н.Г., Сенин Б.В. Электромагнитное излучение над глубинными разломами литосферы по измерениям на спутнике // Докл. РАН. 1998. Т. 300, № 6. С. 814–818.

Леса СССР. Т. 1. М.: Наука, 1966. 457 с.

Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 230 с.

Морозова Л.И. К вопросу об активности разломов, выявляемых в поле общности на спутниковых снимках Земли // Исследования Земли из космоса. 2005. № 2. С. 27–30.

Паламарчук И.А., Бровко О.С., Беляев В.В., Боголицын К.Г., Бойцова Т.А., Жильцов Д.В., Слобода А.А., Вальчук Н.А. Влияние геоэкологических факторов

среды на биохимические показатели лишайников на территории Вельско-Устьянского тектонического узла (Архангельская область) // Химия растительного сырья. 2018. № 4. С. 215-224. DOI: 10.14258/jcrptm.2018043803.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель 2000, 1999. 768 с.

Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: Геоинформцентр, 2002. 250 с.

Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т. Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. М.: Недра, 1982. 239 с.

Экология человека в изменяющемся мире / отв. ред. В.А. Черешнев. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 570 с.

Belyaev V.V., Bogolytsyn K.G., Brovko O.S., Kutinov Yu.G., Neverov N.A., Palamarchuk I.A., Boytsova T.A., Chukhchin D.G., Zhiltsova D.V., Gorshkova N.A. Influence of tectonic faults on the conditions and properties of some components of a biogeocenosis in a subarctic area // European Journal of Environmental Sciences. 2019. Vol. 9, no. 1. P. 5-11. DOI: 10.14712/23361964.2019.1.

Riley S.J., DeGloria S.D., Elliot R. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity // Intermountain Journal of Sciences. 1999. Vol. 5. P. 1-4.

Handy M.R., Hirsh G., Hovius N. Tectonic Faults: agent of change on a dynamic Earth. Cambridge: MIT Press, 2007. 446 p. DOI: 10.7551/mitpress/6703.001.0001.

## References

Belyaev V.V., Neverov N.A. About the influence of tectonic centers on the structure and properties of pine and fir timber in Arkhangelsk region. *Bulletin of KSAU*, 2016, iss. 115, no. 4, pp. 101-106. (In Russ.)

Belyaev V.V., Staritsyn V.V. Effect of tectonic functions on changes in blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and cowberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) yields in the Arkhangelsk region. *Bulletin of the North (Arctic) federal university. Series: Natural Sciences*, 2012, no. 2, pp. 10-15. (In Russ.)

Belyaev V., Kutinov Yu., Chistova Z., Khmara K. Influence of tectonic faults junctions on precipitation features in forest ecosystems. *Bulletin of Pomor University. Series: Natural Sciences*, 2009, no. 2, pp. 45-50. (In Russ.)

Belyaev V.V., Bogolytsyn K.G., Brovko O.S., Kutinov Yu.G., Neverov N.A., Palamarchuk I.A., Boytsova T.A., Chukhchin D.G., Zhiltsova D.V., Gorshkova N.A. Influence of tectonic faults on the conditions and properties of some components of a biogeocenosis in a subarctic area. *European Journal of Environmental Sciences*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 5-11. DOI: 10.14712/23361964.2019.1.

Boyarshikh I.G., Kulikova A.I. Variability of cytogenetic disturbances in *Lonicera caerulea* (blue honeysuckle) population in an active fault zone. *Ecological genetics*, 2017, iss. 15, no. 2, pp. 62-70. DOI: 10.17816/ecogen15262-70. (In Russ.)

Boyarskikh I.G., Agatova A.R., Kulikova A.I., Bakiyanov A.I., Skaptsov M.V., Mazeika J. Integrated geological, geophysical and botanic investigations of tectonic conjunction zone between Katun range And Uymon depression (Gornyy Altai). *Geophysical processes and biosphere*, 2018, iss. 17, no. 1, pp. 45-76. DOI: 10.21455/GPB2018.1-3. (In Russ.)

Boyarskikh I.G., Agatova A.R., Syso A.I., Klyuchevskaya A.I. Plant morphofunctional response to environmental changes within active fault zones of the Kurai ridge (Gornyy Altai). *Geophysical processes and biosphere*, 2020, iss. 19, no. 2, pp. 19-44. DOI: 10.21455/gpb2020.2-2 (In Russ.)

Forests of the USSR, Vol. 1. Moscow: Nauka, 1966. 457 p. (In Russ.)

Human ecology in a changing world / ed. by V.A. Chereshev. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2006. 570 p. (In Russ.)

Korotkov Yu., Kutinov Yu., Chistova Z. Geoelectrics portunities or prospecting of kimberlite bodies of the Arkhangelsk diamondiferous province. *Bulletin of Pomorsky University. Series: Natural and Mathematical Sciences*, 2007, no. 2, pp. 36-34. (In Russ.)

Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. Complex model of geospheres interaction processes in the tectonic nodes at the north of Russian plate. *Almanac "Space and Time"*, 2012, iss. 1, no. 1. (In Russ.)

Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Polyakova E.V., Mineev A.L. Application of digital relief models (DEM) to identify tectonic structures of ancient platforms (using the example of the North-West of the Russian Plate). Penza: Sotsiosfera, 2020. 378 p. (In Russ.)

Larkina V.I., Migulin V.V., Sergeeva N.G., Senin B.V. Electromagnetic radiation over deep faults of the lithosphere as measured by satellite. *Doklady RAS*, 1998, iss. 300, no. 6, pp. 814-818. (In Russ.)

Letnikov F.A. Synergetics of geological systems. Novosibirsk: Nauka, 1992. 230 p. (In Russ.)

Morozova L.I. Detection of linear cloudy anomalies above the Caspian sea faults using satellite imagery. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2005, no. 2, pp. 27-30. (In Russ.)

Palamarchuk I.A., Brovko O.S., Belyaev V.V., Bogolitsyn K.G., Boitsova T.A., Zhiltsov D.V., Sloboda A.A., Valchuk N.A. Influence of the environmental geoeological factors on the biochemical indicators of lichens in the territory of the Velsk-Ustyansk tectonic node (Arkhangelsk region). *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 215-224. DOI: 10.14258/jcprm.2018043803. (In Russ.)

Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of the landscape. Moscow: Astraea 2000, 1999. 768 p. (In Russ.)

Riley S.J., DeGloria S.D., Elliot R. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 1999, vol. 5, pp. 1-4.

Syvorotkin V.L. Deep degassing of the Earth and global catastrophes. Moscow: Geoinformtsentr, 2002. 250 p. (In Russ.)

Handy M.R., Hirsh G., Hovius N. Tectonic Faults: agent of change on a dynamic Earth. Cambridge: MIT Press, 2007. 446 p. DOI: 10.7551/mitpress/6703.001.0001.

*Tyapkin K.F., Kivelyuk T.T.* The study of fault structures by geological and geophysical methods. Moscow: Nedra, 1982. 239 p. (In Russ.)

*Volchanskaya I.K., Sapozhnikova E.N.* Terrain analysis in the search for mineral deposits. Moscow: Nedra, 1990. 159 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 13.08.2025*

---

**Неверов Н.А., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Тюкавина О.Н.** Состав и производительность лесов в тектонических узлах в Архангельской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 140–152. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.140-152

Цель работы – изучение влияния геологической составляющей, в частности, тектонических узлов на породный состав и продуктивность древостоев Архангельской области. Тектонические узлы (далее узлы) выделялись по комплексу геофизических данных, гидросети и мезорельефу. Они являются местом пересечения 2 и более глубинных разломов земной коры, в которых повышена ее раздробленность. При увеличении количества пересекающихся разломов повышается проницаемость земной коры, что приводит к усилению геофизических аномалий, глубинной дегазации и изменению структуры барического поля. Всего исследовали 3 узла со значительной площадью и раздробленностью земной коры. Исходными лесоустроительными данными являлись план лесоустройства и таксационные описания за 1995 г. Породный состав изучен в 3 узлах на площади более 11000 км<sup>2</sup>, продуктивность сосняков – в Вельско-Устьянском узле. Выявлена достоверная прямая корреляция доли ели с геоморфометрическими параметрами Кожезерского узла, что связано с улучшением почвенно-грунтовых условий за счет улучшения дренажа посредством высокого индекса расчлененности. Обратная корреляция доли сосны и березы в данном узле с теми же параметрами связана с вытеснением их елью. Прямая корреляция доли болот с высотой местности в Вельско-Устьянском узле, вероятнее всего, связана с широким распространением моренных песчаных отложений и меньшим количеством осадков в центре узла, т.к. рельеф менее выражен, чем в Кожезерском. Сила влияния Вельско-Устьянского узла на повышение производительности сосны составляет не более 10% и выражается в увеличении высоты, диаметра либо обоих показателей на 1-2 м и 1-2 см соответственно, что связано с уменьшением осадков в центре узла и улучшением почвенно-грунтовых условий. Полученные данные позволяют говорить о возможном влиянии тектонических узлов на породный состав и производительности хвойных насаждений посредством изменения климатических и геоморфометрических параметров.

**Ключевые слова:** состав древостоя, производительность, сосна, тектонические узлы, Архангельская область

**Neverov N.A., Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Tyukavina O.N.** Composition and productivity of forests in tectonic nodes in the Arkhangelsk region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 140–152 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.140-152

The purpose of the work is to study the influence of the geological component, in particular tectonic knots on the rock composition and productivity of stands of the Arkhangelsk region. Tectonic knots (hereinafter referred to as knots) were distinguished by a set of geophysical data, a hydraulic network and a mesorelief. Knots are the site of the suppression of 2 or more deep faults of the Earth's crust, in which the fragmentation of the Earth's crust is increased. As the number of intersecting faults increases, the permeability of the Earth's crust increases, which leads to increased geophysical anomalies, deep degassing, and changes in the structure of the baric field. In total, 3 knots with a significant area and fragmentation of the Earth's crust were studied. The initial forest management data was the forest management plan and tax descriptions for 1995. The rock composition was studied in 3 knots on an area of more than 11,000 km<sup>2</sup>, and the productivity of pine forests was investigated in the Velsko-Ustyansk knot. A reliable direct correlation of the proportion of spruce with the geomorphometric parameters of the Kozhezersky knot was revealed, which is associated with an improvement in soil and soil conditions due to improved drainage by means of a high dissection index. The inverse correlation of the proportion of pine and birch in this node with the same parameters is due to the displacement of these species by spruce. The direct correlation of the proportion of marshes with the height of the terrain in the Velsko-Ustyansky knot is most likely due to the widespread distribution of moraine sand deposits and less precipitation in the center of the knot, since the relief is less pronounced than in Kozhezersk. The influence of the Velsko-Ustyansky knot on increasing pine productivity is no more than 10% and is expressed in an increase in height, diameter, or both by 1-2 m and 1-2 cm, respectively, which is associated with a decrease in precipitation in the center of the knot and an improvement in soil and hydrological conditions. The data obtained allow us to talk about the possible influence of tectonic knots on the rock composition and productivity of coniferous plantations, by changing climatic and geomorphometric parameters.

**Key words:** forest composition, productivity, pine, tectonic knots, Arkhangelsk Region.

---

**НЕВЕРОВ Николай Александрович** – старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Уральского отделения РАН, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 6340-3675. ORCID: 0000-0002-0161-0738.

163020, Никольский пр., д. 20, г. Архангельск, Россия. E-mail: neverov@yandex.ru

**NEVEROV Nikolay A.** – PhD (Agriculture), Senior Researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch of the RAS. SPIN-code: 6340-3675. ORCID: 0000-0002-0161-0738.

163020. Nikolskiy av. 20. Arkhangelsk. Russia. E-mail: na-everov@yandex.ru

**КУТИНОВ Юрий Григорьевич** – главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН, доктор геолого-минералогических наук. SPIN-код: 3297-9738. ORCID: 0000-0003-1528-5910.

163020, Никольский пр., д. 20, г. Архангельск, Россия. E-mail: kutinov@fciarctic.ru

**KUTINOV Yuriy G.** – DSc (Geological & Mineralogical), Chief Researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch of the RAS. SPIN-code: 3297-9738. ORCID: 0000-0003-1528-5910.

163020. Nikolskiy av. 20. Arkhangelsk. Russia. E-mail: kutinov@fciarctic.ru

**ЧИСТОВА Зинаида Борисовна** – ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН, кандидат геолого-минералогических наук. SPIN-код: 5541-3825. ORCID: 0000-0003-2827-0478.

163020, Никольский пр., д. 20, г. Архангельск, Россия. E-mail: zchistova@yandex.ru

**CHISTOVA Zinaida B.** – PhD (Geological & Mineralogical), Leading Researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch of the RAS. SPIN-code: 5541-3825. ORCID: 0000-0003-2827-0478.

163020. Nikolskiy av. 20. Arkhangelsk. Russia. E-mail: zchistova@yandex.ru

**ТЮКАВИНА Ольга Николаевна** – профессор Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 5120-2525. ORCID: 0000-0003-4024-6833.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: o.tukavina@narfu.ru

**TYUKAVINA Olga N.** – DSc (Agriculture), Professor, Northern (Arctic) Federal University. SPIN-code: 5120-2525. ORCID: 0000-0003-4024-6833.

163002. Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: o.tukavina@narfu.ru

**О.В. Азарова, С.Н. Шлапакова, Д.А. Маштаков, А.В. Терешкин,  
А.С. Азаров, О.В. Корякина, А.П. Демидова**

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ТОПИАРНЫХ ФОРМ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ГОРОДА САРАТОВА**

*Введение.* Однообразие ассортимента деревьев и кустарников озелененных территорий в г. Саратове и крайне неухоженный вид растений определяют актуальность формирования топиариев как элемента, повышающего декоративные качества объектов озеленения круглогодично [Андрушко, Терешкин, 2011; Сачивко и др., 2022].

Окраска сортов представителей родов *Juniperus* L. и *Thuja* L. очень разнообразна и представлена различными оттенками зеленого и голубого цветов. Преобладающая жизненная форма – кустарник. Благодаря широкой цветовой гамме окраски хвои и различным жизненным формам можно создавать разнообразные акценты на объектах ландшафтной архитектуры и индивидуальной застройки [Мазаева, 2023; Курочкин, Мурадова, 2022].

В настоящее время частные сады всё чаще используют хвойные растения, в основном из-за их продолжительного срока жизни и возможности создания декоративных, топиарных композиций. В насаждениях общего пользования хвойные растения применяются ограниченно, топиарные формы в настоящее время не используются. Существующие исследования недостаточно подробно изучают особенности роста и восстановления хвои у различных видов хвойных растений в условиях городской среды Саратовской области [Арестова, Карпенко, 2005; Терешкин и др., 2013, 2019; Пичугина, Азарова, 2023]. Отсутствуют данные о влиянии географического происхождения на зимостойкость и засухоустойчивость этих видов. Кроме того, практически отсутствуют исследования, касающиеся необходимости и оптимальной частоты обрезки хвойных пород, адаптированных к постоянно меняющимся условиям городской среды.

Востребованность и биологические характеристики хвойных растений подчеркивают необходимость более глубокого изучения применения топиарного искусства, особенностей хвойных интродуцентов, в частности, сортов видов *Juniperus* и *Thuja*, которые по своим характеристикам иде-

ально подходят для озеленения городской среды и частной застройки [Сементютина и др., 2021].

В настоящее время известно несколько схем стрижки хвойных растений, которые проводят в разное время года. Наиболее оптимальным сроком проведения формовочной обрезки является весна, санитарной – лето.

После окончательного укоренения саженцев можжевельника и туи, спустя два года после посадки, проводят первую стрижку.

Очищение кустарника от пострадавших зимой веток проводят весной. Летняя санитарная коррекция требуется тем можжевельникам, у которых было обнаружено какое-либо заболевание или поражение побегов вредителями. Сучья срезают радикально. Это позволяет исключить риск дальнейшего распространения болезни.

*Материалы и методика исследования.* Исследования проводили на объектах индивидуального жилого строительства в г. Саратове. Объектом исследования выступили сорта видов *Juniperus* и *Thuja*.

*Цель исследования* – проведение оценки характера роста и развития сортов видов *Juniperus* и *Thuja* после стрижки, устойчивости растений к комплексу неблагоприятных факторов в условиях г. Саратова.

В задачи исследования входило:

- установление принципов, сроков, особенностей обрезки и ухода за сортами видов *Juniperus* и *Thuja* в условиях г. Саратова;
- оценка перспективности и устойчивости сортов видов к сложившимся экологическим условиям;
- установление видового состава фитопатогенов для сортов видов *Juniperus* и *Thuja* в условиях г. Саратова.

Первую задачу решали опытным путем с 2019 по 2023 гг. Перспективность интродукции древесных растений определяли методом интегральной числовой оценки, разработанным в отделе дендрологии ГБС АН СССР. По сумме баллов показателей и шкале определяли перспективность интродукции изученных сортов и форм хвойных растений [Лапин, Сиднева, 1973]. Эта методика позволяет дать интегральную оценку жизнеспособности интродуцированных растений, выраженную семью числовыми показателями. Нами введен критерий оценки повреждаемости весенними ожогами ввиду ее частого проявления у хвойных растений.

Видовой состав фитопатогенов сортов видов *Juniperus* и *Thuja* в условиях г. Саратова определяли макроскопическим методом, который позволяет проводить диагностику болезней по хорошо видимым невооруженным глазом внешним (макроскопическим) признакам [Кузьмичев и др., 2004].

*Результаты исследования.* Для топиарной обрезки сроки определяют индивидуально. В условиях г. Саратова для сортов и форм *Juniperus* и *Thuja* формовочная обрезка рекомендуется ранней весной до 15 мая или в конце лета. Используемый инструмент должен быть надлежащего качества и продезинфицирован. Можжевельники, произрастающие в г. Саратове, летом не подвергают сильной санитарной обрезке (табл. 1). Кустарник не сможет окрепнуть до появления первых заморозков, что приведет к снижению жизненного состояния растения в следующем году. При стрижке хвойных растений не стоит оставлять голые ветви, так как хвоя на них не вырастет из-за отсутствия спящих почек. Осенью у хвойных растений обрезают только сломанные ветви и лысые побеги. Если удалению подверглись ветви толщиной 1-2 см, то срезы обрабатывают фунгицидами.

Таблица 1

**Виды и сроки обрезки сортов видов *Juniperus* и *Thuja* в условиях г. Саратова**

**Types and timing of pruning of varieties of *Juniperus* and *Thuja* in the conditions of Saratov**

Наименование растения	Формовочная обрезка		Санитарная обрезка		
			слабая	умеренная	сильная
<i>Juniperus scopulorum</i> «Blue Arrow»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	конец июня	сентябрь	май
<i>Juniperus pfitzeriana</i> «Mint Julep»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	конец июня	сентябрь	май
<i>Juniperus squamata</i> «Meyeri»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	конец июня	сентябрь	май
<i>Juniperus squamata</i> «Blue Carpet»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	конец июня	сентябрь	май
<i>Juniperus pfitzeriana</i> «Old Gold»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	конец июня	сентябрь	май
<i>Thuja occidentalis</i> «Smaragd»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	сентябрь	сентябрь	июнь
<i>Thuja occidentalis</i> «Danica»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	сентябрь	сентябрь	июнь
<i>Thuja occidentalis</i> «Brabant»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	сентябрь	сентябрь	июнь
<i>Thuja occidentalis</i> «Globosa»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	конец июня	сентябрь	май
<i>Thuja orientalis</i> «Pyramidalis Aurea»	до 15 мая	конец августа–начало сентября	конец июня	сентябрь	май

Метод формирующей обрезки применяется к медленнорастущим видам и сортам. Конические формы растений эффектно контрастируют с шаровидными растениями или плоскими поверхностями, такими как газоны, водоемы или мощеные площадки. Шаровидные формы и конусы являются характерными элементами регулярных садов и также используются в современных садах, которым свойственна эклектика. Владельцы частных садов зачастую стремятся подчеркнуть индивидуальность и оригинальность своих объектов, что становится возможным благодаря широкому выбору форм топиариев. Габитус растений определяет возможность придания формы кроне (табл. 2).

Таблица 2

**Возможная форма кроны после обрезки *Juniperus* и *Thuja***

**Possible crown shape after pruning *Juniperus* and *Thuja***

Наименование растения	Природная форма кроны	Возможная форма кроны после обрезки
<i>Juniperus scopulorum</i> «Blue Arrow»	пирамидальная	спираль, чаша, овал, колос, изгородь
<i>Juniperus pfitzeriana</i> «Mint Julep»	раскидистая	звезда, чаша, прямоугольник, волна
<i>Juniperus squamata</i> «Meyeri»	раскидистая	звезда, чаша, прямоугольник, волна
<i>Juniperus squamata</i> «Blue Carpet»	раскидистая	звезда, чаша, прямоугольник, волна
<i>Juniperus pfitzeriana</i> «Old Gold»	раскидистая	звезда, чаша, прямоугольник, волна
<i>Thuja occidentalis</i> «Smaragd»	конусовидная	спираль, чаша, овал, колос, изгородь
<i>Thuja occidentalis</i> «Danica»	шаровидная	шар, квадрат, цветок, овал, изгородь
<i>Thuja occidentalis</i> «Brabant»	конусовидная	спираль, чаша, овал, колос, изгородь
<i>Thuja occidentalis</i> «Globosa»	шаровидная	шар, квадрат, цветок, овал, изгородь
<i>Thuja orientalis</i> «Pyramidalis Aurea»	конусовидная	спираль, чаша, овал, колос, изгородь

Декоративные качества хвойных пород, дополняемые выраженными фитонцидными свойствами, делают их привлекательными для целей озеленения. Эффективность интродукции растений в новую область определяется их жизнеспособностью в данных условиях. Жизнеспособность проявляется в полноте прохождения циклов сезонного развития, а отклонения от оптимальных параметров позволяют судить о пригодности растений для конкретного региона. Для ландшафтного строительства, помимо высокой экологической устойчивости, ключевым фактором является сохранение габитуса, окраски хвои, пропорциональности прироста в высоту и ширину, а также других эстетических и технологических показателей.

Для оценки жизнеспособности были использованы восемь показателей, которые характеризуют состояние растений в данных условиях и вместе с тем могут быть определены путем систематических визуальных наблюдений за общим и сезонным развитием растений. Оценка проводилась по следующим показателям: зимостойкость, повреждение солнечными ожогами, одревеснение побегов, сохранение жизненной формы, побегообразовательная способность и наличие ежегодного прироста, способность к генеративному развитию, возможность размножения и искусственного разведения. Результаты оценки жизнеспособности интродуцированных растений приводятся в табл. 3.

Для обследованных нами видов и сортов оценка сохранения природной формы показывает, что большинство видов имеют размеры и формы, близкие к природным, характерным для особей в пределах ареала. При анализе возраста растений было установлено, что большинство из них относится к категории молодых и средневозрастных. Взрослые и старые особи установлены нами для можжевельника виргинского.

Анализ повреждаемости видов и сортов солнечными ожогами показывает, что растения, расположенные в утренние и дневные часы в зоне тени зданий и сооружений, повреждаются значительно меньше, поэтому балльную оценку мы давали для растений на освещенных и открытых участках насаждений. Наблюдениями установлено, что практически не повреждаются можжевельники.

Высокие значения показателя одревеснения для подавляющего большинства видов объясняются нами тем, что их родина – бореальный пояс, в котором вегетационный период более короткий. Растения более южных широт имеют растянутый срок вегетации и не всегда успевают ее закончить. Хорошо сохраняют форму роста можжевельники.

Таблица 3

**Результаты оценки жизнеспособности сортов видов *Juniperus* и *Thuja***  
**The results of the assessment of the viability of varieties of *Juniperus* and *Thuja***

Название вида	Жизненная форма		Возраст, лет		Балльная оценка жизнеспособности								Общая оценка	
	В природе	В культуре	от	до	Зимостойкость	Повреждение солнечными ожогами	Одревеснение побегов	Сохранение формы роста	Побегообразование	Прирост в высоту (ширину)	Генеративное развитие	Возможные способы размножения	Сумма баллов жизнеспособности	Группа перспективности
<i>Juniperus scopulorum</i> «Blue Arrow»	Кв	Кв	3	45	25	20	20	10	5	5	25	3	113	1
<i>Juniperus pfitzeriana</i> «Mint Julep»	Кс	Кс	3	65	25	15	15	10	3	5	25	3	101	1
<i>Juniperus squamata</i> «Meyeri»	Кс	Кс	3	15	25	20	20	10	3	5	25	3	111	1
<i>Juniperus squamata</i> «Blue Carpet»	Кн	Кс	3	15	25	20	20	10	3	5	25	3	111	1
<i>Juniperus pfitzeriana</i> «Old Gold»	Кс	Кс	3	12	25	20	15	10	5	5	25	3	108	1
<i>Thuja occidentalis</i> «Smaragd»	Кв	Кв	3	50	20	10	20	10	5	5	25	3	98	1
<i>Thuja occidentalis</i> «Danica»	Кн	Кн	3	25	20	10	20	10	3	5	25	3	96	1
<i>Thuja occidentalis</i> «Brabant»	Кв	Кв	3	35	25	15	20	10	5	5	25	3	108	1
<i>Thuja occidentalis</i> «Globosa»	Кс	Кн	3	25	25	15	20	10	3	5	25	3	108	1
<i>Thuja orientalis</i> «Pyramidalis Aurea»	Кв	Кв	3	30	20	10	15	10	3	5	25	3	91	1

*Примечание:* Кв – кустарник высокий, Кс – кустарник средний, Кн – кустарник низкий

Побегообразовательная способность ниже у поврежденных обмерзанием и солнечными ожогами растений. Способностью к ежегодному приросту обладает большинство обследованных видов. В результате засушливого года с малоснежной зимой прирост практически у всех видов значительно меньше, чем в прошлом году. I группа (вполне перспективные) включает все исследуемые сорта туи и можжевельника.

Наиболее перспективными являются можжевельник скальный (*Juniperus scopulorum* «Blue Arrow» ), можжевельник средний (*Juniperus pfitzeriana* «Old Gold»), туя западная (*Thuja occidentalis* «Brabant», «Globosa»). Наименьший балл интегральной оценки получен для туи восточной (*Thuja orientalis* «Pyramidalis Aurea») – 91.

*Обсуждение.* К наиболее популярным растениям, культивируемым в насаждениях индивидуальной застройки г. Саратова, относятся *Juniperus scopulorum* «Blue Arrow», *Juniperus pfitzeriana* «Mint Julep», *Juniperus squamata* «Meyeri», *Juniperus squamata* «Blue Carpet», *Juniperus pfitzeriana* «Old Gold», *Thuja occidentalis* «Smaragd», *Thuja occidentalis* «Danica», *Thuja occidentalis* «Brabant», *Thuja occidentalis* «Globosa», *Thuja orientalis* «Pyramidalis Aurea». Преобладающей жизненной формой является кустарник. Благодаря особенностям сортов можно создать следующие виды насаждений: массивы, кулисы, солитеры, живые изгороди, аллеи, шпалеры. Наиболее универсальными являются сорта туи, которые позволяют создать практически все виды насаждений. Из можжевельников наиболее универсальным можно считать *Juniperus scopulorum* «Blue Arrow».

Природная форма кроны видов *Juniperus* и *Thuja* позволяет получать разнообразные геометрические фигуры. Из можжевельника создают спирали, чаши, овал, колос. Из туи выстригают изгороди, прямоугольник, волны. Опытным путем установлено оптимальное количество и сроки обрезок за сезон.

В условиях индивидуальной застройки г. Саратова установлены основные фитопатогены для сортов видов *Juniperus* и *Thuja*. Можжевельники повреждаются *Fusarium* Link, *Gymnosporangium sabinae* Oerst, *Biatorrella* Hatschek. Туи повреждаются *Fusarium* Link, *Herpotrichia juniperi* Petr, *Phoma thujana* Thm. Повреждения встречаются достаточно редко на единичных возрастных экземплярах.

Исследуемые виды имеют размеры и формы, близкие к природным, характерным для особей в пределах ареала. К группе вполне перспективных отнесены все исследуемые сорта туи и можжевельника. Наиболее перспективными являются *Juniperus scopulorum* «Blue Arrow», *Juniperus pfitzeriana* «Old Gold», *Thuja occidentalis* «Brabant», *Thuja occidentalis* «Globosa». Наименьший балл интегральной оценки получен для *Thuja orientalis* «Pyramidalis Aurea».

*Заключение.* Разработанные принципы, сроки обрезки, а также подбор и применение стрижек для сортов видов *Juniperus* и *Thuja* позволят расширить применение топиарных форм хвойных растений в зеленых насаждениях г. Саратова.

*Вклад авторов:* О.В. Азарова – 30%, С.Н. Шлапакова – 20%, Д.А. Маштаков – 10%, А.В. Терешкин – 10%, А.С. Азаров – 30%.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### **Библиографический список**

*Андрушко Т.А., Терешкин А.В.* Оценка эффективности использования можжевельника казацкого для озеленения склонов в условиях степи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 9(83). С. 40–43.

*Арестова Е.А., Карпенко В.А.* Видовой состав интродуцированных растений на примере Петровского района Саратовской области // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2005. № 2. С. 39–40.

*Кузьмичев Е.П., Соколова Э.С., Мозолевская Е.Г.* Болезни и вредители в лесах России. Т. 1: Болезни древесных растений. М.: ВНИИЛМ, 2004. 120 с.

*Курочкин Д.Т., Мурадова А.В.* Использование хвойных растений при создании древесно-кустарниковых групп // Актуальные вопросы экологии и природопользования: сб. науч. ст. по мат. VII межд. науч.-пр. конф. Ставрополь, 2022. С. 101–103.

*Лапин П.И., Сиднева С.В.* Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М., 1973. С. 7–67.

*Мазаева Ю.В.* Использование хвойных деревьев и кустарников в ландшафтном дизайне для озеленения и благоустройства территорий // Наука и Образование. 2023. Т. 6, № 1.

*Пичугина Е.К., Азарова О.В.* Перспективность применения топиарных форм вида *Lupinus L.* в зеленых насаждениях // Агрофорсайт. 2023. № 2(45). С. 66–69.

*Сачивко Т.В., Порхунцова О.А., Поварова Н.Н.* Декоративные растения и основы ландшафтного дизайна. Хвойные декоративные растения. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. 83 с.

*Семенютина А.В., Цой М.В., Сапронов В.В.* Опыт интродукции хвойных растений в условиях сухой степи // Наука. Мысль. 2021. Т. 11, № 1. С. 17–32. DOI: 10.25726/17664-5483-8738-s.

*Терешкин А.В., Калмыкова А.Л., Заигралова Г.Н.* Перспективы расширения ассортимента деревьев и кустарников в зеленых насаждениях г. Саратова при их реконструкции и реновации // Вестник ландшафтной архитектуры. 2019. № 20. С. 57–59.

*Терешкин А.В., Заигралова Г.Н., Кицаева Н.С., Соловьева О.В.* Состояние и перспективы использования хвойных древесных растений в озеленении г. Саратова // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 6. С. 50–53.

## References

Andrushko T.A., Tereshkin A.V. Evaluation of the effectiveness of using Cossack juniper for landscaping slopes in steppe conditions. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2011, no. 9(83), pp. 40-43. (In Russ.)

Arestova E.A., Karpenko V.A. Species composition of introduced plants on the example of Petrovsky district of Saratov region. *Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*, 2005, no. 2, pp. 39-40. (In Russ.)

Kurochkin D.T., Muradova A.V. The use of coniferous plants in the creation of tree and shrub groups. *Topical issues of ecology and nature management: collection of sci. art. based on the mat. of the VII int. sci.-pract. conf. Stavropol*, 2022, pp. 101–103. (In Russ.)

Kuzmichev E.P., Sokolova E.S., Mozolevskaya E.G. Diseases and pests in the forests of Russia. Vol. 1: Diseases of woody plants. Moscow: VNIILM, 2004. 120 p. (In Russ.)

Lapin P.I., Sidneva S.V. Assessment of the prospects for the introduction of woody plants according to visual observations. *The experience of introducing woody plants*. Moscow, 1973, pp. 7-67. (In Russ.)

Mazaeva, Yu. V. The use of coniferous trees and shrubs in landscape design for landscaping and landscaping. *Science and Education*, 2023, vol. 6, no. 1. (In Russ.)

Pichugina E.K., Azarova O.V. The prospects of using topiary forms of the *Juniperus* L. species in green spaces. *Agroforsite*, 2023, no. 2(45), pp. 66–69. (In Russ.)

Sachivko T.V., Porkhuntsova O.A., Povarova N.N. Ornamental plants and the basics of landscape design. Coniferous ornamental plants. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy, 2022. 83 p. (In Russ.)

Semenyutina A.V., Tsoi M.V., Sapronov V.V. The experience of the introduction of coniferous plants in the conditions of the dry steppe. *Nauka. Mysl*, 2021, vol. 11, no. 1. DOI: 10.25726/17664-5483-8738-s. (In Russ.)

Tereshkin A.V., Kalmykova A.L., Zaiigralova G.N. Prospects for expanding the range of trees and shrubs in the green spaces of Saratov during their reconstruction and renovation. *Bulletin of Landscape Architecture*, 2019, no. 20, pp. 57-59. (In Russ.)

Tereshkin A.V., Zaiigralova G.N., Kitsaeva N.S., Solovyova O.V. The state and prospects of using coniferous woody plants in landscaping in Saratov. *Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*, 2013, no. 6, pp. 50–53. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 14.04.2025

---

**Азарова О.В., Шлапакова С.Н., Маштаков Д.А., Терешкин А.В., Азаров А.С., Корякина О.В., Демидова А.П.** Оценка перспективности использования топиарных форм хвойных растений в условиях города Саратова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 153–165. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.153-165

Статья посвящена актуальным исследованиям формирования топиариев из хвойных растений как элемента, повышающего декоративные качества объектов озеленения в течение всего года за счет разнообразной окраски хвои – от зеленого до голубого цвета. Авторы представили аналитический обзор, согласно которому данные о влиянии географического происхождения на зимостойкость и засухоустойчивость сортов видов *Juniperus* и *Thuja* в условиях г. Саратова ограничены. Целью исследования было проведение оценки характера роста и развития сортов видов *Juniperus* и *Thuja* после стрижки, устойчивости растений к комплексу неблагоприятных факторов в условиях г. Саратова. Перспективность интродукции древесных растений определяли методом интегральной числовой оценки, разработанным в отделе дендрологии ГБС АН СССР. По сумме баллов показателей и шкале определяли перспективность интродукции. Видовой состав фитопатогенов сортов и форм *Juniperus* и *Thuja* в условиях г. Саратова определяли макроскопическим методом. Приведены исследования, касающиеся необходимости и оптимальной частоты обрезки хвойных пород, адаптированных к напряженным условиям городской среды. В условиях г. Саратова для сортов видов *Juniperus* и *Thuja* формовочная обрезка на основании проведенных исследований рекомендуется ранней весной до 15 мая или в конце лета. Осенью у хвойных растений обрезают только сломанные ветви и лысые побеги. Исследуемые виды имеют размеры и формы, близкие к природным, характерным для особей в пределах ареала. К группе вполне перспективных отнесены все исследуемые сорта туи и можжевельника.

Ключевые слова: топиарные формы, ассортимент, обрезка, можжевельник, туя, жизненная форма.

**Azarova O.V., Shlapakova S.N., Mashtakov D.A., Tereshkin A.V., Azarov A.S., Koryakina O.V., Demidova A.P.** Assessment of the prospects of using topiary forms of coniferous plants in the conditions of the city of Saratov. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 153–165 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.153-165

The article is devoted to current research on the formation of topiary from coniferous plants, as an element that increases the decorative qualities of landscaping objects throughout the year due to the diverse coloring of needles from green to blue. The authors presented an analytical review, according to which data on the influence of geographical origin on winter hardiness and drought resistance of varieties of *Juniperus* and *Thuja* species are limited in the conditions of Saratov. The purpose of the study was to assess the nature of growth and development of *Juniperus* and *Thuja* species and varieties after shearing, plant resistance to a complex of adverse factors in the conditions of Saratov. The prospects for the introduction of woody plants were determined by the method of integral numerical

evaluation, developed in the Department of Dendrology of the SBS of the USSR Academy of Sciences. The prospects of the introduction were determined by the sum of the scores of the indicators and the scale. Species composition of phytopatogens of *Juniperus* and *Thuja* varieties and forms in the conditions of Saratov was determined by the macroscopic method. Studies are presented concerning the necessity and optimal frequency of pruning of conifers adapted to the stressful conditions of the urban environment. In the conditions of Saratov, for varieties of *Juniperus* and *Thuja* species, molding pruning based on the conducted studies is recommended in early spring before May 15 or at the end of summer. In autumn, only broken branches and bald shoots are cut off from coniferous plants. The studied species have sizes and shapes close to the natural ones characteristic of individuals within the range. All the studied varieties of thuja and juniper are classified as quite promising.

**Key words** : topiary forms, assortment, pruning, juniper, thuja, life form.

---

**АЗАРОВА Олеся Валентиновна** – доцент кафедры ландшафтной архитектуры Российского государственного аграрного университета МСХА им. К.А. Тимирязева, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 8412-1295. ORCID: 0000-0003-4317-816X.

127434, Тимирязевская ул., д. 49., г. Москва, Россия. E-mail: azarovaov@yandex.ru

**AZAROVA Olesya V.** – PhD (Agricultural), Associate Professor, Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. SPIN-code: 8412-1295. ORCID: 0000-0003-4317-816X.

127434. Timiryazevskaya str. 49. Moscow. Russia. E-mail: azarovaov@yandex.ru

**ШЛАПАКОВА Светлана Николаевна** – заведующий кафедрой декоративного растениеводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доцент, кандидат биологических наук. SPIN-код: 7095-4162. ORCID: 0000-0001-9056-5299.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shla-svetlana@yandex.ru

**SHLAPAKOVA Svetlana N.** – PhD (Biological), Head of the Department of Ornamental Plant Growing, St.Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor. SPIN-code: 7095-4162. ORCID: 0000-0001-9056-5299.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: shlasvetlana@yandex.ru

**МАШТАКОВ Дмитрий Анатольевич** – профессор кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Вавиловского университета, доцент, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 9495-7939. ORCID: 0000-0002-1217-3078.

410012, пр. им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Россия. E-mail: topgun2308@mail.ru

**MASHTAKOV Dmitry A.** – DSc (Agricultural), Professor, Department of Forestry and Landscape Construction, Vavilov University, Associate Professor. SPIN-code: 9495-7939. ORCID: 0000-0002-1217-3078.

410012. Petr Stolypin av. 4. Build. 3. Saratov. Russia. E-mail: topgun2308@mail.ru

**ТЕРЕШКИН Александр Валериевич** – доцент кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Вавиловского университета, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 9895-1268. ORCID: 0000-0002-2125-0290.

410012, пр. им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Россия. E-mail: soilzln@mail.ru

**TERESHKIN Aleksandr V.** – PhD (Agricultural), Associate Professor, Department of Forestry and Landscape Construction, Vavilov University. SPIN-code: 9895-1268. ORCID: 0000-0002-2125-0290.

410012. Petr Stolypin av. 4. Build. 3. Saratov. Russia. E-mail: soilzln@mail.ru

**АЗАРОВ Александр Сергеевич** – старший преподаватель кафедры инженерной и компьютерной графики Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева, доцент, кандидат технических наук. SPIN-код: 8412-1295. ORCID: 0000-0002-1750-5553.

127434, Тимирязевская ул., д. 49., г. Москва, Россия. E-mail: asazarov@rgau-msha.ru

**AZAROV Aleksandr S.** – PhD (Technical), Senior Lecturer, Department of Engineering and Computer Graphics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Associate Professor. SPIN-code: 8412-1295. ORCID: 0000-0002-1750-5553.

127434. Timiryazevskaya str. 49. Moscow. Russia. E-mail: asazarov@rgau-msha.ru

**КОРЯКИНА Ольга Вячеславовна** – старший преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева, кандидат биологических наук. SPIN-код: 8928-3530. ORCID: 0000-0002-6890-4562.

127434, Тимирязевская ул., д. 49, г. Москва, Россия. E-mail: okoryakina@rgau-msha.ru

**KORYAKINA Olga V.** – PhD (Biological), Senior Lecturer, Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. SPIN-code: 8928-3530. ORCID: 0000-0002-6890-4562.

127434, Timiryazevskaya str. 49, Moscow, Russia. E-mail: okoryakina@rgau-msha.ru

**ДЕМИДОВА Алена Павловна** – ассистент кафедры ландшафтной архитектуры Российского государственного аграрного университета –МСХА им. К.А. Тимирязева. SPIN-код: 8245-6901. ORCID: 0000-0003-2522-2470.

127434, Тимирязевская ул., д. 49, г. Москва, Россия. E-mail: a.demidova@rgau-msha.ru

**DEMIDOVA Alena P.** – Assistance Lecturer, Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. SPIN-code: 8245-6901. ORCID: 0000-0003-2522-2470.

127434, Timiryazevskaya str. 49, Moscow, Russia. E-mail: a.demidova@rgau-msha.ru

**Т.С. Наконечная, В.А. Славский**

**ВЫДЕЛЕНИЕ И ОТБОР ЦЕННЫХ ФОРМ  
ЛЕЩИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*CORYLUS AVELLANA* L.)  
В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Введение.* Лещина обыкновенная является особо ценным видом, который не только выращивается на плодовых плантациях [Кудашова, 1965; Щепотьев и др., 1985], но и используется в защитных лесонасаждениях [Агролесомелиорация, 2006], при озеленении городских и пригородных территорий [Щепотьев и др., 1985; Шлапакова и др., 2024]. Для успешного культивирования данной породы требуются отселектированные сорта и лучшие местные формы с заданными свойствами, направленными на достижение различных целей. Получение сортов необходимо осуществлять с учётом региональных и почвенно-климатических особенностей [Сухорукых и др., 2010; Pourbabaie, Adel, 2015].

В лесных насаждениях на территории Воронежской области лещина обыкновенная встречается в подлеске, зачастую являясь преобладающей породой [Наконечная, 2023]. Охрана окружающей среды, сохранение природных ресурсов и рациональное природопользование, а также адаптация к изменениям климата относятся к приоритетным национальным интересам Российской Федерации<sup>1</sup>. Подлесок играет важную роль в лесных насаждениях, оказывая влияние на формирование, развитие и устойчивость экосистем. Следовательно, изучение состава, структуры и биологических особенностей подлесочных пород крайне актуально при реализации задач в сфере экологической безопасности и рационального природопользования. Установление особенностей формирования биоразнообразия отдельных ярусов особенно важно для лесных растительных сообществ при оценке общей устойчивости насаждений [Полосухина и др., 2020].

При создании различных элементов зеленых насаждений в городской и парковой среде важным критерием является декоративное качество древесных растений. Особый интерес представляют деревья и кустарники, де-

---

<sup>1</sup> Указ Президента РФ от 02.07.2021 N 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

коративность которых проявляется в течение всего года [Щепотьев и др., 1985]. Декоративность растений определяется многими признаками: габитусом кроны, типом ветвления, характеристиками побегов и т. д. Ключевыми декоративными качествами являются размер и окраска листьев, характер поверхности, форма основания листовой пластинки и др. [Шлапакова и др., 2024].

Для создания плодовых плантаций лещины обыкновенной необходимо сформировать схему смешения растений разных сортов семенного происхождения, которые будут опылять друг друга [Щепотьев и др., 1985]. Отсутствие районированных сортов является одной из основных причин недостаточной распространенности породы в регионе исследования.

Как показывает опыт Р.Ф. Кудашевой [1965], в селекции лещины обыкновенной отбор перспективных форм из местных популяций оказался наиболее эффективным. Автору удалось получить несколько ценных форм для Центральной Черноземной зоны России, по ряду признаков превосходящих южные сорта. При отборе лещины обыкновенной из дикорастущих популяций есть преимущества: во-первых, такие популяции обладают высоким генетическим разнообразием, что делает отбор эффективным, во-вторых, местные формы оптимально приспособлены к климатическим условиям региона и не требуют времени на акклиматизацию [Сухоруких и др., 2023]. Кроме того, это позволит избежать ненужных затрат на интродуцирование декоративных форм и сократит продолжительность селекционного процесса [Исущева, Пчихачев, 2020].

Лещина относится к зимостойким растениям, но достаточно часто подмерзает при возврате холодов после начала цветения [Наконечная, 2023]. Больше всего страдают мужские соцветия, что в дальнейшем негативно сказывается на урожайности [Мухаметова и др., 2021]. Из наиболее вредных заболеваний для лещины выделяют серую гниль мужских соцветий, бактериоз и мучнистую росу. Почковый клещ, фундучный усач и ореховый долгоносик значительно снижают урожай [Биганова и др., 2016].

Выведение сортофонда перспективно с использованием местного генофонда дикорастущих форм лещины при отборе особей, обладающих хозяйственно ценными признаками [Сухоруких и др., 2023]. Таким образом, изучение адаптивных и репродуктивных свойств лещины обыкновенной на территории Воронежской области является крайне актуальным вопросом для лесного хозяйства в области селекции, семеноводства и лесовыращивания.

*Цель работы* – на основе комплексного анализа выделить и отобрать наиболее ценные формы лещины обыкновенной, пригодные для различно-

го целевого назначения при выращивании на территории Воронежской области.

*Материалы и методика исследования.* Объектами исследования послужили лесные разновозрастные насаждения, произрастающие в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ) на территории Пригородного лесничества Воронежской области, дифференцированные по густоте подлеска (с преобладанием лещины) (рис. 1).

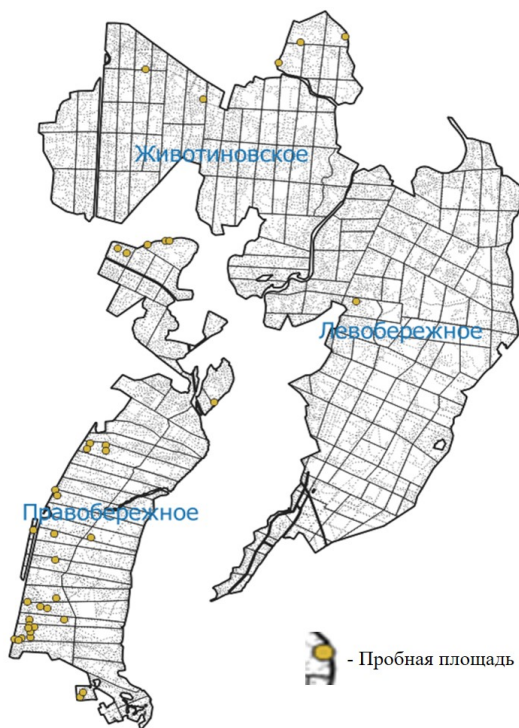


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования

Fig. 1. Layout of research objects

На предварительном этапе проведена стратификация лесных насаждений по густоте лещины, ТЛУ и возрасту древостоя. Далее в пределах страны заложены пробные площади, подобранные на основе сочетания случайной и систематической выборки.

При натурном обследовании на выбранных объектах было заложено 38 круговых пробных площадей постоянного радиуса ( $R=12,6$  м) в наиболее характерных частях выдела для обеспечения репрезентативности выборки, что позволило выявить адаптивные и репродуктивные свойства форм лещины обыкновенной. Таксационные характеристики насаждений приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Таксационная характеристика насаждения на пробных площадях на территории Пригородного лесничества Воронежской области**

**Taxation characteristics of plantings on sample plots in the territory of the Prigorodnoye forestry of the Voronezh region**

№ п/п	Участковое лесничество	Кварт./выд.	ТЛУ	Характеристика древостоя				Подлесок	
				состав	возраст	Нср, м	Дср, см	состав	густота (лещина)
1	Правобережное	48/44	A2	8СО2С+Днн	68	21	24	5Р3Брк2Лщ	редкая
2	Правобережное	48/43	A2	6СО3С1Днн	68	17	28	6Лщ2Клт2Бзн	средняя
3	Правобережное	48/45	A2	10С	58	17	22	5Р4Лщ1Аж	редкая
4	Левобережное	44/17	B2	8С2Днн	150	27	48	5Клт4Лщ1Крл	редкая
5	Правобережное	48/49	B2	6Днп2Клн2Ос	110	25	36	5Клт5Лщ	средняя
6	Правобережное	48/34	B2	5Днн5Ос+С+Б	65	17	28	8Лщ2Брк	средняя
7	Правобережное	46/21	B2	9С1Дн+Ос+Б	48	18	20	5Р3Брк2Лщ	редкая
8	Правобережное	48/6	B2	8С2Б	53	22	22	7Лщ3Брк	средняя
9	Правобережное	48/25	B2	6Б2Днн2Ос	90	24	28	10Лщ	редкая
10	Правобережное	46/10	B2	8С2Дн	83	26	30	6Лщ3Брк1Бзн	средняя
11	Правобережное	48/22	B2	9Б1Ос	37	16	16	5Крл4Лщ1Киз	редкая
12	Животиновское	1/33	B2	6Б2С1Яон1Кло	25	14	14	7Лщ3Клт	редкая
13	Правобережное	44/8	С2	10С	55	21	22	5Лщ3Брк2Клт	средняя
14	Правобережное	9/58	С2	6Б4Ос+С	62	26	28	10Лщ	средняя
15	Правобережное	34/2	С2	3С3Дн2Лп1Кло1Б	51	22	24	6Лщ3Брк1Ж	средняя
16	Правобережное	42/40	С2	6СО3СО1Днн	83	24	28	6Лщ2Клт2Бзн	средняя
17	Животиновское	2/20	С2	6Б3Ос1Яов	30	17	16	10Лщ	редкая
18	Животиновское	5/10	С2	7Днн1Б1Ос1Лп	75	21	26	6Лщ4Клт	средняя
19	Животиновское	7/12	С2	6Б3Ос1С+Днп+Лп	45	20	20	10Лщ	средняя
20	Животиновское	28/22	С2	9С1Б	74	26	28	7Лщ3Брк	редкая
21	Правобережное	44/7	С2D	10Днн+Ос+Б+Лп	100	21	30	6Лщ3Р1Брк	средняя

Окончание табл. 1

№ п/п	Участковое лесничество	Кварт./выд.	ТЛУ	Характеристика древостоя				Подлесок	
				состав	воз-раст	Нср, м	Дср см	состав	густота (лещина)
22	Правобережное	1/4	C2D	10Б	45	25	30	10Лщ	редкая
23	Правобережное	1/5	C2D	4Днп4Ос2Кло	95	25	36	10Лщ	средняя
24	Правобережное	1/1	C2D	5Б3Днп2Ос+Кло	90	28	44	10Лщ	редкая
25	Правобережное	42/38	C2D	8Ос2Днп	80	22	24	10Лщ	средняя
26	Правобережное	2/10	C2D	5Лп5Ос+Кло	25	12	10	10Лщ	средняя
27	Правобережное	2/13	C2D	5Днп2Лп2Кло1Яов	90	24	32	8Лщ2Брк	редкая
28	Правобережное	34/10	C2D	10Б+Ос+Лп	35	22	22	10Лщ	густая
29	Правобережное	38/8	C2D	4Днп3Б3Лп	100	25	26	10Лщ	густая
30	Правобережное	53/12	D2	7Днп3Лп+Яон	90	20	24	7Лщ3Клп	средняя
31	Правобережное	20/6	D2	7Ос1Яов2Лп+Клп	35	17	16	10Лщ	средняя
32	Правобережное	20/3	D2	6Днп2Яов1Кло1Лп	105	25	36	9Лщ1Клп	редкая
33	Правобережное	20/9	D2	10Б	35	22	20	10Лщ	редкая
34	Правобережное	20/18	D2	4Днп3Яов2Лп1Кло	85	24	30	10Лщ	редкая
35	Правобережное	28/2	D2	8Яов1ДН1Лп	51	22	22	6Лщ4Клп	редкая
36	Правобережное	28/3	D2	8Днп2Яов+Лп	110	25	30	7Лщ3Клп	средняя
37	Правобережное	33/13	D2	6Днп2Яов2Лп+Кло	100	24	32	7Лщ3Клп	средняя
38	Правобережное	53/6	D2	10Дн	58	19	20	7Лщ3Клп	средняя

*Примечание:* СО – сосна обыкновенная искусственного происхождения; С – сосна обыкновенная естественного происхождения; Днп – дуб нагорный низкоствольный; Днп – дуб нагорный порослевой высокоствольный; Клп – клен остролистный низкоствольный; Ос – осина; Б – береза бородавчатая; Дн – дуб нагорный семенной; Яон – ясень обыкновенный низкоствольный; Кло – клен остролистный высокоствольный; Лп – липа; Яов – ясень обыкновенный высокоствольный; Клп – клен полевой; Р – рябина; Брк – бересклет; Лщ – лещина; Клт – клен татарский; Бзн – бузина; Аж – акация желтая; Крл – крушина ломкая; Киз – кизильник; Ж – жимолость

Определение адаптивных свойств (кроме оценки устойчивости к болезням и вредителям) производили лабораторными методами в соответствии с методиками, адаптированными для региона исследования [Версин, Улюкина, 1970; Резвякова, 2015; Славский, Чернышов, 2018; Славский, Евлаков, 2019]. Ключевыми адаптивными компонентами, изучаемыми в работе, являются зимостойкость и устойчивость растений к ранним весенним заморозкам.

При определении зимостойкости использованы однолетние черенки лещины обыкновенной, которые были собраны с каждой пробной площади в количестве не менее 50 образцов. При оценке устойчивости к ранним осенним и поздним весенним заморозкам использовали цветоносы лещины обыкновенной, собранные в количестве не менее 100 образцов с каждой пробной площади. Применяемые методы определения устойчивости растений к неблагоприятным факторам основаны на использовании прямого промораживания.

Устойчивость растений к болезням и вредителям определяли без искусственного заражения глазмерным способом [Биганова и др., 2016]. Итоговый показатель рассчитывали как средневзвешенное значение для всей выборки по каждой форме. Для оценки адаптивной устойчивости использована 5-балльная шкала, где 1 – самые устойчивые, 5 – наименее устойчивые растения.

При изучении репродуктивных свойств использованы глазмерные методики для определения величины урожая, оценки качества плодов, декоративности лещины обыкновенной. Величина урожая определялась по методике Сухоруких И.Ю. с соавторами [2007] и оценивалась на основе 5-балльной шкалы, адаптированной для определения урожая лещины обыкновенной в условиях изучаемого региона (кг с куста): 1 – высокоурожайные формы (2,1 и более); 2 – урожайные (1,1-2,0); 3 – среднеурожайные (0,5-1,0); 4 – слабо урожайные (0,1-0,4); 5 – неурожайные (0,1-0).

Общая оценка качества плодов определялась на основе методического подхода, предложенного В.А. Славским с соавторами [Slavskiy et al., 2019]. Выделенные показатели качества плодов лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.) разбиты на отдельные категории и имеют следующую структуру: по массе и размерам плодов; по толщине и твердости скорлупы; по выходу ядра; по кусковым качествам плодов.

Для декоративных целей выбирали формы лещины обыкновенной по внешним признакам. Дендрологическое описание осуществляли по методике Н.Е. Булыгина [1991].

Математическая обработка экспериментального материала выполнена с использованием статистической программы STATISTIKA 13.0 [Шевелина, Нуриев, 2022]. Описательная статистика проведена на основе рекомендаций Б.А. Доспехова [2011]. При проведении дисперсионного анализа рассчитаны достоверности различий между изучаемыми признаками и проведено сравнение с критерием Стьюдента ( $t=1,96$ ) на уровне вероятности 0,95 [Чалганова, 2022].

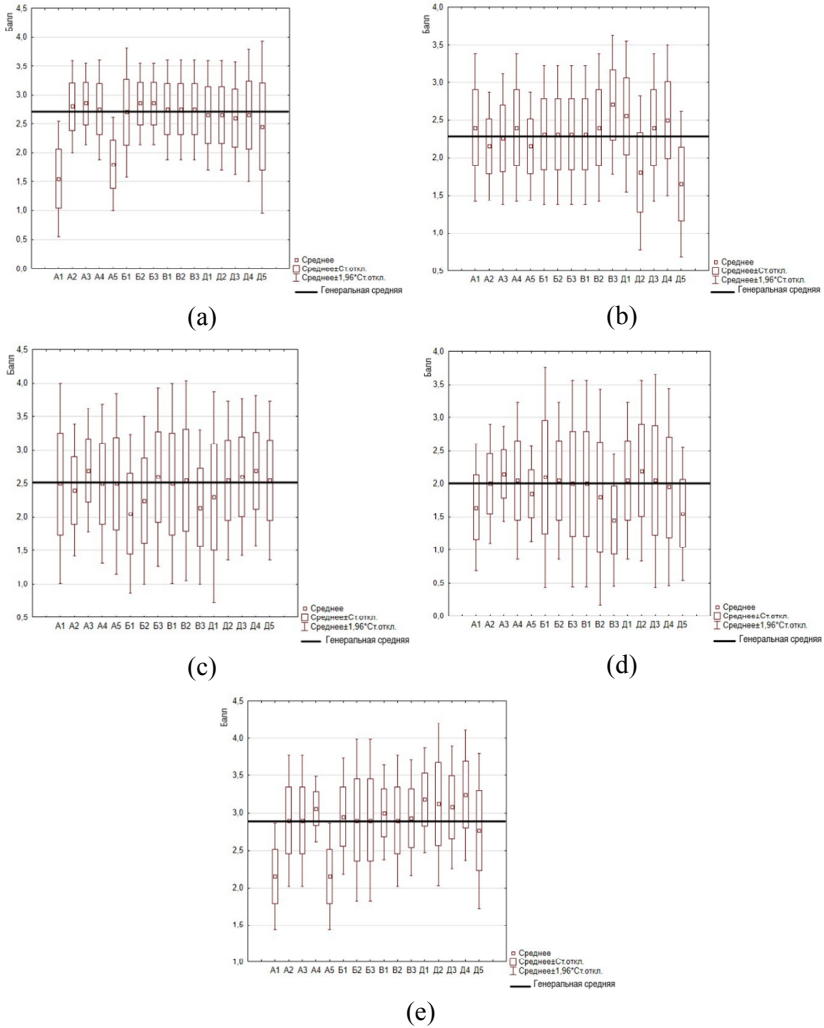
*Результаты исследования.* В ходе работы выделено 16 форм лещины обыкновенной, отличающихся по устойчивости к неблагоприятным факторам, величине урожая и качеству плодов, а также декоративным свойствам. Основанием для выделения формы являлось существенное отличие исходных параметров от средних аналогов, произрастающих в регионе исследования, хотя бы по одному из ключевых селекционных признаков. Перечень выделенных форм и их основные характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Выделенные по основным оценочным признакам формы лещины обыкновенной**

**Selected forms of common hazel according to the main evaluation characteristics**

Форма	Общее качество плодов		Величина урожая		Зимостойкость		Устойчивость к вредителям и болезням		Устойчивость к заморозкам	
	М±m, балл	С, %	М±m, балл	С, %	М±m, балл	С, %	М±m, балл	С, %	М±m, балл	С, %
A1	2,5±0,17	30,4	1,6±0,13	39,0	1,7±0,11	27,6	2,1±0,06	14,6	1,7±0,10	27,6
A2	2,4±0,11	20,9	2,0±0,10	22,9	2,8±0,09	14,6	2,1±0,08	17,0	2,9±0,10	15,4
A3	2,7±0,10	17,4	2,2±0,08	17,0	2,8±0,08	12,8	2,2±0,09	19,7	2,9±0,10	15,4
A4	2,5±0,13	24,2	2,1±0,13	29,5	2,7±0,12	20,0	2,4±0,11	20,9	3,0±0,05	7,33
A5	2,5±0,15	27,5	2,2±0,08	17,0	1,8±0,11	29,1	2,3±0,10	20,8	1,7±0,10	27,6
B1	3,0±0,21	29,5	2,1±0,19	40,5	2,7±0,13	21,2	2,3±0,10	20,4	2,9±0,08	13,3
B2	2,0±0,13	32,4	2,0±0,13	29,5	2,9±0,08	12,9	2,3±0,10	20,4	3,1±0,06	9,9
B3	2,6±0,15	26,2	2,0±0,17	39,7	2,9±0,08	12,8	2,3±0,10	20,4	2,9±0,12	19,0
B1	2,5±0,17	30,4	2,0±0,17	39,7	2,7±0,09	16,2	2,3±0,10	20,4	3,0±0,07	10,8
B2	2,5±0,16	29,7	1,8±0,18	46,3	2,7±0,09	16,1	2,4±0,11	20,9	2,9±0,10	15,4
B3	2,9±0,19	30,7	1,3±0,13	43,4	2,7±0,09	16,2	2,7±0,10	17,4	2,9±0,08	13,4
D1	2,3±0,17	34,8	2,1±0,14	29,5	2,7±0,09	16,2	2,5±0,11	20,0	3,1±0,07	11,2
D2	2,5±0,13	23,7	2,2±0,15	31,6	2,7±0,09	16,2	1,8±0,11	29,0	3,1±0,12	17,8
D3	2,6±0,13	23,0	2,1±0,18	40,2	2,6±0,11	19,3	2,4±0,11	20,9	3,0±0,09	13,6
D4	2,7±0,12	21,1	1,9±0,16	38,9	2,6±0,13	22,1	2,5±0,11	20,5	3,2±0,10	13,8
D5	2,5±0,13	23,7	1,5±0,13	40,4	2,7±0,14	24,3	1,6±0,10	29,6	3,1±0,10	15,8



**Рис. 2.** Выделенные формы по селективным признакам:  
 (а) зимостойкость; (б) устойчивость к вредителям и болезням;  
 (с) качество плодов; (д) величина урожая; (е) устойчивость к заморозкам

**Fig. 2.** Selected forms based on selective traits:  
 (a) winter hardiness; (b) resistance to pests and diseases; (c) fruit quality;  
 (d) yield size; (e) frost resistance

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что форма А1 имеет наилучшие показатели среднего значения зимостойкости и устойчивости к заморозкам – 1,7 баллов для обоих критериев. При этом данная форма по количеству урожая превышает генеральную среднюю при значении 1,6 балла. По количеству плодов выделяется форма Б2: средний балл равен 2,0. Наилучшая форма по устойчивости к вредителям и болезням – Д5 при среднем балле 1,6. Оценка выделенных форм по селективным признакам и их сравнение с генеральной средней приведено на рис. 2.

Для всех форм характерен высокий или повышенный уровень изменчивости по величине урожая и качеству плодов, что позволяет проводить отбор наиболее ценных особей. По адаптивным признакам изменчивость находится на среднем или низком уровне.

Из рис. 2а и 2е можно сделать вывод, что из выделенных форм по признакам зимостойкости и устойчивости к заморозкам можно выделить три формы: А1, А5 и Д5 – которые при исследовании имели показатели, превышающие значения генеральной средней.

При оценке форм по устойчивости к вредителям и болезням (рис. 2б) выявлены несколько форм, превышающих значение генеральной средней, наиболее устойчивыми из них являются Д2 и Д5.

На рисунке 2с представлены лучшие формы по качеству плодов – Б2, В3 и Д1. Формы А1, В3 и Д5 (рис. 2д) показали лучшие значения по величине урожая за исследуемый период.

Для выявления перспективных форм на основе оценки селективных признаков необходимо рассчитать достоверность различий между средними значениями признаков. Если среднее значение изучаемого признака существенно превосходит показатель генеральной средней величины, то данные формы могут быть рекомендованы для массового разведения на территории исследуемого региона. На основании рассчитанной достоверности различий между средними значениями составлена табл. 3.

При анализе данных, приведенных в табл. 3, выявлено, что форма А1 проявляет повышенные адаптивные свойства и имеет достоверные различия между средними значениями по признакам зимостойкости и устойчивости к вредителям и болезням, а форма Д5 – по зимостойкости. Кроме того, высоким адаптивным потенциалом обладают формы А5 и Д2, следовательно, они нуждаются в дополнительном изучении.

По величине урожая не выявлено форм, достоверно превышающих генеральную среднюю. При этом следует отметить, что селекционный интерес по качеству плодов могут представлять формы Б2 и В3, особенно учитывая их высокую формовую изменчивость.

Таблица 3

**Достоверность различий между средними адаптивными свойствами  
лещины обыкновенной (балл)**

**Reliability of differences between average adaptive properties  
of common hazel (points)**

Форма	Изучаемый признак, балл				
	общее качество плодов	величина урожая	зимостойкость	устойчивость к заморозкам	устойчивость к вредителям и болезням
A1	–	0,75	2,09*	1,67	2,03*
A2	0,15	–	0,42	–	0,64
A3	0,29	0,31	0,42	–	0,43
A4	–	0,15	0,53	0,24	–
A5	–	0,41	1,55	1,02	1,29
B1	0,72	0,14	0,20	–	0,21
B2	1,55	–	0,63	0,08	0,21
B3	0,14	–	0,63	–	0,21
B1	–	–	0,41	0,24	0,21
B2	–	0,29	0,21	–	–
B3	1,57	1,06	0,21	–	0,63
D1	0,28	0,15	0,62	0,49	0,21
D2	–	0,30	0,62	0,47	1,25
D3	0,14	0,14	–	0,23	–
D4	0,28	0,15	–	0,71	0,21
D5	–	0,75	1,99*	0,90	1,91

*Примечание:* \* – достоверные различия между средними значениями формы по изучаемому признаку и генеральной средней на уровне значимости 0,95

*Заключение.* Отобраны перспективные формы лещины обыкновенной по различным наиболее важным селекционным признакам – формы А1, А5, В2, В3, и Д5, которые могут быть использованы для создания орехоплодовых плантаций, декоративного лесоразведения, повышения биоразнообразия и устойчивости экосистем.

Формы А1 и Д5 рекомендуются для повышения биоразнообразия и формирования устойчивых лесных насаждений. Для данных форм выявля-

ны достоверные различия между средними значениями признаков по зимостойкости и устойчивости к болезням и вредителям.

Кроме того, форма А5, помимо высоких адаптивных свойств (не имеющих полностью подтвержденной статистической достоверности), обладает высокими декоративными качествами и рекомендуется для паркового и лесопаркового строительства при формировании ландшафтных групп.

Формы Б2 и В3, с учетом повышенных значений отдельных элементов качества плодов, рекомендуются для разведения на садовых участках, а форма В3 при грамотном ведении селекционных мероприятий – для создания плодовых плантаций.

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

### **Библиографический список**

Агролесомелиорация. 5-е изд., перераб. и доп. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.

*Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Пчихачев Э.К., Фомичева Е.О.* Некоторые программные и методические аспекты селекции лещины (фундука) на Западном Кавказе. Аналитический обзор // Новые технологии. 2016. № 4. С. 103-109.

*Булыгин Н.Е.* Дендрология. 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, 1991. 352 с.

*Вересин М.М., Улюкина М.К.* Селекция ореха грецкого на зимостойкость методом отбора и гибридизации // Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск. 1970. С. 365-369.

*Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта: учебник. М.: Колос, 2011. 547 с.

*Исущева Т.А., Пчихачев Э.К.* Отбор декоративных форм лещины обыкновенной на Северо-Западном Кавказе // Субтропическое и декоративное садоводство. 2020. №75. С. 55-59. DOI: 10.31360/2225-3068-2020-75-55-59.

*Кудашева Р.Ф.* Разведение и селекция лещины и фундука. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 132 с.

*Мухаметова С.В., Павлова Е.Н., Нехорошкова Е.В.* Показатели плодов и размножение фундука «Академик Яблоков» // Сельское хозяйство. 2021. № 3. С. 31-42. DOI: 10.7256/2453-8809.2021.3.36844.

*Наконечная Т.С.* Оценка хозяйственной ценности плодов лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.) в Воронежской области // Лесотехнический журнал. 2023. Т.13. № 3(51). С. 71-86. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/6.

*Полосухина Д.А., Прокушкин А.С., Масыгина О.В.* Биоразнообразие растений нижних ярусов сосновых лесов Средней Сибири // Российская Арктика. 2020. № 2s. С. 44-50.

*Резвякова С.В.* Теоретические и практические основы повышения биоресурсного потенциала устойчивости садовых культур к температурным факторам: дис. ... д-ра с.-х. наук. Орел, 2015. 385 с.

Славский В.А., Евлаков П.М. Устойчивость видов орехов рода *Juglans* к понижениям и резким перепадам температуры в Воронежской области // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9, № 2(34). С. 90-95. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/10.

Славский В.А., Чернышов М.П. Комплексная оценка зимостойкости ореха грецкого в Воронежской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 224. С. 37-45. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.224.37-50.

Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г. Отбор лещины на силу роста, декоративность и качество плодов // Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 05–09. DOI:10.34736/FNC.2023.120.1.001.05-09.

Сухоруких Ю.И., Луговской А.П., Биганова С.Г. Программа и методика селекции ореха грецкого. Майкоп: Качество, 2007. 55 с.

Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г., Уджуху М.И., Орлов Б.П., Трушева Н.А., Черноштанов Н.А. Лесные плодовые виды Северо-Западного Кавказа. Майкоп: Качество, 2010. 192 с.

Чалганова А.А. Выполнение задачи однофакторного дисперсионного анализа с использованием табличного процессора Excel: учеб. пособие. СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2022. 52 с.

Шевелина И.В., Нуриев Д.Н. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде STATISTICA. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. 112 с.

Шлапакова С.Н., Алехина И.В., Хоменок М.А., Морозов А.Н. Зимостойкость, засухоустойчивость и оценка декоративности *Corylus avellana* L. в условиях г. Брянска // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 251. С. 6–16. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.6-16.

Щепотьев Ф.Л., Рухтер А.А., Павленко Ф.А. Орехоплодные лесные и садовые культуры. М.: Лесная промышленность, 1985. 366 с.

Pourbabaei H., Adel M.N. Plant Ecological Groups and Soil Properties of Common Hazel (*Corylus avellana* L.) Stand in Safagashteh Forest, north of Iran // Folia Forestalia Polonica. Series A. 2015. Vol. 57, iss. 4. P. 245-250. DOI: 10.1515/ffp-2015-0026.

Slavskiy V.A., Vodolazhsky A.N., Biganova S.G. A comprehensive assessment of the sustainability of nuts of the genus *Juglans* on adaptive features in the Voronezh region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Art. no. 012016. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012016.

## References

Agro-forest melioration. 5<sup>th</sup> ed., rev. and add. Volgograd: VNIALMI, 2006. 746 p. (In Russ.)

Biganova S.G., Sukhorukikh Yu.I., Pchikhachev E.K., Fomicheva E.O. Some program and methodical aspects of hazelnut selection in the Western Caucasus. Analytical overview. *Novye tekhnologii*, 2016, no. 4, pp. 103-109. (In Russ.)

Bulygin N.E. Dendrology. 2nd ed., rev. and add. Leningrad: Agropromizdat, 1991. 352 p. (In Russ.)

Chalganova A.A. Performing the task of single-factor analysis of variance using an Excel spreadsheet processor: textbook. St. Petersburg: Rossiyskiy gosudarstvenny gidrometeorologicheskii universitet, 2022. 52 p. (In Russ.)

Dospehov B.A. Field experience methodology: textbook. Moscow: Kolos, 2011. 547 p. (In Russ.)

Isushcheva T. A., Pchikhachev E.K. Selecting ornamental forms of common hazel in the Northwest Caucasus. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*, 2020, no.75, p. 55–59. DOI: 10.31360/2225-3068-2020-75-55-59. (In Russ.)

Kudasheva R.F. Cultivation and breeding of hazel and hazelnuts. Moscow: Lesn. prom-'st, 1965. 132 p. (In Russ.)

Mukhametova S.V., Pavlova E.N., Nekhoroshkova E.V. Fruit indicators and reproduction of hazelnut 'Academic Yablokov'. *Selskoe khozyaystvo*, 2021, no. 3, pp. 31-42. DOI: 10.7256/2453-8809.2021.3.36844. (In Russ.)

Nakonechnaya T.S. Economic worth assessment of the common hazel (*Corylus avellana* L.) fruits in the Voronezh region. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2023, vol. 13, no. 3(51), pp. 71-86. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/6. (In Russ.)

Polosukhina D.A., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. Plant biodiversity of the lower tiers of pine forests in Central Siberia. *Rossiyskaya Arktika*, 2020, no. 2s, pp. 44–50. (In Russ.)

Pourbabaei H., Adel M.N. Plant Ecological Groups and Soil Properties of Common Hazel (*Corylus avellana* L.) Stand in Safagashteh Forest, north of Iran. *Folia Forestalia Polonica. Series A*, 2015, vol. 57, no. 4, pp. 245-250. DOI: 10.1515/ffp-2015-0026.

Rezvyakova S.V. Theoretical and practical foundations for increasing the bioresource potential of garden crops resilience to temperature factors. Diss. ... Dr. Agr. Sci. Orel, 2015. 385 p. (In Russ.)

Shchepotyev F.L., Rikhter A.A., Pavlenko F.A. Nut-bearing forest and garden crops. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1985. 366 p. (In Russ.)

Shevelina I.V., Nuriev D.N. Statistical processing of forestry and taxation information in the STATISTICA environment. Ekaterinburg: UGLTU, 2022. 112 p. (In Russ.)

Shlapakova S.N., Alehina I.V., Homenok M.A., Morozov A.N. Winter hardiness, drought resistance and assessment of decorativeness of *Corylus avellana* L. in the conditions of Bryansk. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, no. 251, pp. 6–16. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.6-16. (In Russ.)

Slavskiy V. A., Vodolazhskiy A.N., Biganova S.G. A comprehensive assessment of the sustainability of nuts of the genus *Juglans* on adaptive features in the Voronezh region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, p. 012016. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012016.

Slavskiy V.A., Chernyshov M.P. Comprehensive assessment of walnut winter hardiness in the Voronezh region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2018, iss. 224, pp. 37-45. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.224.37-50. (In Russ.)

Slavskiy V.A., Evlakov P.M. Sustainability of nuts of the genus *Juglans* to reductions and dangerous temperature differences in the Voronezh region. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2019, vol. 9, no. 2(34), pp. 90–95. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/10. (In Russ.)

Sukhorukikh Yu.I., Lugovskoy A.P., Biganova S.G. The program and methodology of walnut breeding. Maykop: Kachestvo, 2007. 55 p. (In Russ.)

Sukhorukikh Yu.I., Biganova S.G., Udzhukhu M.I., Orlov B.P., Trusheva N.A., Chernoshtanov N.A. Forest fruit species of the north-western Caucasus. Maykop: Kachestvo, 2010. 192 p. (In Russ.)

Sukhorukikh Yu.I., Biganova S.G. Selection of Hazel for the Growth Intensity, Decorativeness and Crop Quality. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal*, 2023, no. 1 (120), pp. 05-09. DOI:10.34736/FNC.2023.120.1.001.05-09. (In Russ.)

Veresin M.M., Ulyukina M.K. Breeding of walnuts for winter hardiness by selection and hybridization. *Lesnaya genetika, selektsiya i semenovodstvo*. Petrozavodsk, 1970, pp. 365-369. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 15.04.2025

---

**Наконечная Т.С., Славский В.А.** Выделение и отбор ценных форм лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.) в Воронежской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 166–181. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.166-181

Лещина обыкновенная является особо ценным видом, сочетающим в себе комплекс полезных свойств. Во всех регионах, подходящих по климату и почвенным условиям, создаются плодовые плантации, культура используется в защитных лесонасаждениях, при озеленении городских и пригородных территорий. Выведение сортофонда перспективно с использованием местного генофонда дикорастущих форм при отборе особей, обладающих хозяйственно ценными признаками, что обуславливает актуальность изучаемого вопроса. Цель работы – на основе комплексного анализа выделить и отобрать наиболее ценные формы лещины обыкновенной, пригодные для различного целевого назначения при выращивании на территории Воронежской области. Объектами исследования послужили лесные разновозрастные насаждения, произрастающие в различных типах лесорастительных условий на территории Пригородного лесничества Воронежской области, дифференцированные по густоте лещины. Исследования проведены с применением как общепринятых при проведении селекционного процесса методик, так и с использованием авторских методических подходов. Отбор проводился по адаптивным, репродуктивным и декоративным свойствам. Выявлены перспективные формы лещины обыкновенной по различным наиболее важным селекционным признакам –

формы А1, А5, В2, В3, и Д5, которые могут быть использованы для создания орехоплодовых плантаций, декоративного лесоразведения и повышения биоразнообразия и устойчивости экосистем. Формы А1 и Д5 рекомендуются для повышения биоразнообразия и формирования устойчивых лесных насаждений. Выявлены достоверные различия между средними значениями признаков по зимостойкости и устойчивости к болезням и вредителям. Формы В2 и В3, с учетом повышенных значений отдельных элементов качества плодов, рекомендуются для разведения на садовых участках, а форма В3 при грамотном ведении селекционных мероприятий – для создания плодовых плантаций.

**Ключевые слова:** лещина обыкновенная, селекция, адаптивные свойства, урожайность, качество плодов, перспективные формы.

**Nakonechnaya T.S., Slavskiy V.A.** Isolation and selection of valuable forms of common hazel (*Corylus avellana* L.) in the Voronezh region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 166–181 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.166-181

Common hazel is a particularly valuable species that combines a range of useful properties. Fruit plantations are created in all regions with suitable climate and soil conditions; the crop is used in protective forest plantations and in landscaping urban and suburban areas. Breeding a variety pool is promising using the local gene pool of wild forms when selecting individuals with economically valuable traits, which determines the relevance of the issue under study. The objective of the work is to identify and select the most valuable forms of common hazel based on a comprehensive analysis, suitable for various purposes when grown in the Voronezh Region. The objects of the study were forest stands of different ages growing in various types of forest growth conditions in the Prigorodnoye forestry of the Voronezh Region, differentiated by hazel density. The studies were conducted using both generally accepted methods for the selection process and the author's methodological approaches. The selection was based on adaptive, reproductive and ornamental properties. Promising forms of common hazel were identified based on various most important selection traits: forms А1, А5, В2, В3, and Д5, which can be used to create nut-and-fruit plantations, ornamental afforestation, and to increase biodiversity and sustainability of ecosystems. Forms А1 and Д5 are recommended to increase biodiversity and form sustainable forest plantations. Reliable differences were revealed between the average values of winter hardiness and disease and pest resistance traits. Forms В2 and В3, given the increased values of individual fruit quality elements, are recommended for cultivation in garden plots, and form В3, with proper selection measures, is recommended for creating fruit plantations.

**Key words:** common hazel, selection, adaptive properties, productivity, fruit quality, promising forms.

**НАКОНЕЧНАЯ Татьяна Сергеевна** – преподаватель кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова. SPIN-код: 3015-8022. ORCID: 0009-0002-1177-9411.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: ryadnova.1997@mail.ru

**NAKONECHNAYA Tatyana S.** – Lecturer, Department of Forestry, Forest Inventory and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies. SPIN-code: 3015-8022. ORCID:0009-0002-1177-9411.

394087. Timiryazeva st. 8. Voronezh. Russia. E-mail: ryadnova.1997@mail.ru

**СЛАВСКИЙ Василий Александрович** – профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 9723-5247. ORCID: 0000-0002-6579-0344.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: slavskiyva@yandex.ru

**SLAVSKIY Vasilii A.** – DSc (Agricultural), Professor, Department of Forestry, Forest Inventory and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies. SPIN-code: 9723-5247. ORCID: 0000-0002-6579-0344.

394087. Timiryazeva st. 8. Voronezh. Russia. E-mail: slavskiyva@yandex.ru

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

## **ТИС ЯГОДНЫЙ И КЛЁН ВЫСОКОГОРНЫЙ НА СЕВЕРНОМ МАКРОСКЛОНЕ КАВКАЗА**

*Введение.* Северный Кавказ – особый лесной регион. Характерная особенность лесных формаций Кавказа – зональное смещение растительности. Растения разных жизненных форм, лесорастительных поясов и почвенно-грунтовых условий совместно произрастают на разных элементах рельефа.

По информации, полученной из разных источников, на Кавказе произрастает 11 дикорастущих видов клёна [Дендрофлора..., 1970; Хетагуров, Грязькин, 2013; Хетагуров и др., 2020; Плантариум..., 2026]. Преимущественно чистые по составу древостои на Северном Кавказе формирует только клён высокогорный, или клён Траутфеттера – *Acer trautvetteri* Medw. Первое упоминание в научной литературе о клене высокогорном относится к 1880 г. [Медведев, 1880]; в зарубежной литературе публикаций о нем немного [Коркут, Гюллер, 2007; Schulz, 1960; Wolf, 1981; Mountain..., 1986; Fitschen, 2002].

Некоторые сведения о клене высокогорном можно получить из работ [Конспект..., 2008; Габеев, 2011; Дорошина и др., 2014; Хетагуров, 2018; Николаев и др., 2019; Хетагуров и др., 2020]. Указанные работы содержат преимущественно информацию о древостое; по другим компонентам кленовников она скудная.

На основе анализа опубликованных работ можно сделать вывод, что изучение клена высокогорного и лесных экосистем, сформированных этой лесообразующей породой, находится на начальном этапе. Имеющиеся материалы в основном имеют описательный характер и не содержат информации о структуре и строении высокогорных кленовников. В связи с этим возникла необходимость более глубокого исследования особенностей высокогорных кленовников, в первую очередь там, где ареал этого вида накладывается на ареал тиса ягодного – *Taxus baccata* L. Это пояс горных лесов, произрастающих на высоте 900–1300 м над уровнем моря.

Тис ягодный – реликт Кавказа. Ареал вида широкий, однако плотность популяции этого вида минимальная, представлена локациями небольшой площади, как правило, на крутых склонах разных экспозиций по глухим урочищам Большого Кавказа.

В научной литературе многочисленные публикации по тису ягодному охватывают длительный период времени, более 100 лет [Ругузов, 1974; Гумбатов, Кулиев 1985; Кулиев, Гумбатов, 1985; Арбузов, Казьмин, 1992; Омарова, Асадулаев, 2012; Попович, 2015; Резчикова, 2017; Базаев и др., 2023; Pilger, 1903; Rao, Malaviya, 1965; Mitchell, 1990; Svenning, Magård, 1999; Slepuch et al., 2009; Schirone et al., 2010].

Тис ягодный на Кавказе произрастает преимущественно под пологом древостоев с преобладание бука восточного (*Fagus orientalis* Lipsky) [Алиев, Муртазалиев, 2010; Омарова, Асадулаев, 2012; Базаев и др., 2016, 2023; Gryazkin et al., 2021]. Куртины и небольшие группы тиса сохранились по глухим местам, на крутых склонах, в отдалённых урочищах. Чаще всего по всему ареалу тис встречается в виде единичных особей разной высоты и разного возраста, что связано с распространением семян этой древесной породы птицами [Гумбатов, Кулиев, 1985; Резчикова, 2010; Базаев и др., 2020, 2023].

Общие сведения по биологии и экологии тиса ягодного приводятся во многих работах, опубликованных в разные периоды [Ругузов, 1974; Кулиев, Гумбатов, 1985; Омарова, Асадулаев, 2012; Резчикова, 2017; Базаев и др., 2023; Pilger, 1903; Schirone et al., 2010; Bazaev et al., 2019]. Часть публикаций – это информация о новых местах произрастания реликтового вида [Омарова, Асадулаев, 2012; Базаев и др., 2023; Svenning, Magård, 1999; Fitschen, 2002; Thomas, Polwart, 2003; Tekol, 2007; Wyka et al., 2008; Slepuch et al., 2009; Schirone et al., 2010].

Публикации по комплексному изучению состава и структуры фитоценозов с тисом ягодным в составе древостоев в научной литературе единичны. Имеется лишь несколько работ, опубликованных в последние десятилетия [Омарова, Асадулаев, 2012; Базаев и др., 2016, 2020, 2023; Резчикова, 2017; Slepuch et al., 2009; Schirone et al., 2010; Bazaev et al., 2019].

Тис ягодный растет очень медленно. По данным разных авторов, в 10-летнем возрасте даже в самых благоприятных условиях произрастания он не достигает высоты 0,5 м [Ругузов, 1974; Резчикова, 2017; Базаев и др., 2023]. В начальный период своего развития самосев тиса ягодного в течение многих лет выживает под пологом древостоев и даже в тени крупных деревьев, в условиях минимального светового довольствия. При диаметре ствола 10-12 см возраст тиса достигает 110 лет [Базаев и др., 2023].

*Материалы и методика исследования.* Объект исследования – лесные экосистемы на высоте 1100-1200 м над уровнем моря на территории РСО-Алания. Характерная особенность этого пояса горных лесов – совмещение зон произрастания клёна Траутфеттера и тиса ягодного.

Учёт растительности одновременно во всех компонентах фитоценоза производили на круговых учётных площадках радиусом 178,5 см в соответствии с патентом РФ № 2852509 [Грязькин, Бикетова, 2025]. Для древостоя установлены густота, состав, средний диаметр стволов. Для подроста и подлеска определены видовой состав, численность и распределение по группам высот. Видовой состав, встречаемость и проективное покрытие установлены для живого напочвенного покрова.

По вертикальному профилю зона распространения клена Траутфеттера представлена тремя поясами [Хетагуров, 2018]:

- верхний пояс с отметками выше 1600 м над уровнем моря;
- средний пояс с отметками от 1301 до 1600 м над уровнем моря;
- нижний пояс с отметками до 1300 м над уровнем моря.

Тис ягодный чаще всего встречается существенно ниже по вертикальному профилю. В своё время зона произрастания тиса на северном макросклоне Кавказа, также была разделена на три вертикальных пояса [Базаев и др., 2023]. Верхний пояс древостоев с тисом ягодным совпадает с нижним поясом произрастания клёна Траутфеттера. Средний пояс представлен фитоценозами на высоте 600-800 м над уровнем моря. Нижний пояс произрастания тиса ягодного – до 600 м.

Для выявления различий в видовом составе сравниваемых фитоценозов использовали коэффициент П. Жаккара [Jaccard, 1912], значения которого устанавливали по следующей формуле (1):

$$K_{ж} = \frac{B}{A + B - B} \times 100, \quad (1)$$

где А – число видов на одном из сравниваемых участков, В – число видов на другом участке, В – общее количество совпадающих видов на сравниваемых участках.

*Результаты исследования.* Состав и структуру кленовников на опытном участке обследовали в урочище Кобань на высоте 1100 м над уровнем моря. Фитоценозы с тисом были обследованы в урочище Шуби на высоте 1160 м над уровнем моря. Участки, на которых встречается тис ягодный, расположены в горно-лесном поясе буково-грабовых лесов на высоте от 600 до 1300 м над уровнем моря. Это отроги Лесистого, Предгорного, Пастбищного и Скалистого хребтов.

*Высокогорные кленовники.* Нижняя граница распространения клена Траутфеттера характеризуется более благоприятными условиями для произрастания всех лесообразующих пород. На опытном участке № 1 (урочище Кобань) клен Траутфеттера произрастает единично или группами, совместно

с другими породами – буком восточным, грабом обыкновенным, кленом остролиственным, вязом гладким, ольхой черной, ясенем пенсильванским (табл. 1).

Таблица 1

**Общая характеристика кленовника на опытном участке № 1**

**General characteristics of the maple forest in experimental plot № 1**

Характеристики	Единицы измерения	Значения характеристик
Высота над уровнем моря	м	1100
Экспозиция склона	–	СЗ
Крутизна склона	градусы	10-15
Состав древостоя	%	59Клт13Бук11Олс 8Вяз6Кло3Ясень
Сомкнутость крон	%	92
Относительная полнота	–	0,8
Средний диаметр древостоя	См	36,0
Средняя высота древостоя	М	22,7
Средний возраст древостоя	лет	120
Количество стволов клена	экз./га	182
Тип леса	–	Кленовник щитовниковый
Запас древостоя	м <sup>3</sup> /га	193

Подрост на объекте исследования смешанный по составу, клен Траутфеттера в его составе занимает небольшую долю – 5-14%. Средний состав подраста в процентах от общего количества можно выразить следующей формулой: 59Бк 23Гр 9Клт 4Кло 2Яс 2Ил 1Олч.

Молодое поколение лесообразующих пород встречается группами или куртинами. Преобладает мелкий жизнеспособный подрост. Доля поврежденного подраста невелика и составляет около 5%.

Подлесок на опытном участке представлен 9 видами кустарниковых растений. Максимальная численность подлеска наблюдается под пологом редкостойных древостоев, относительная полнота которых составляет 0,6–0,7.

Живой напочвенный покров в условиях нижнего пояса кленовых лесов сложный по составу и строению. Он представлен растениями разных жизненных форм: мхи, лишайники, травянистые растения, кустарнички, полукустарники и лианы [Кочкин и др., 2016]. Как в случае с верхним поясом распространения кленовников, в нижнем поясе живой напочвенный покров

можно условно разделить на три яруса: верхний, средний и нижний. Верхний ярус сложен крупными злаками и представителями зонтичных, в нижнем ярусе доминирует лесное мелкотравье, средний ярус включает в себя традиционные виды лесных фитоценозов.

Клен Траутфеттера, в условиях нижнего пояса, произрастает преимущественно на горно-лесной бурой, остаточно-карбонатной почве. Почвы сформировались на элювии известняков.

*Фитоценозы с тисом ягодным в составе древостоев.* Участки с большим количеством деревьев тиса всегда приурочены к крутым склонам глубоких и узких долин горных рек, где наблюдается большая влажность воздуха и короткий промежуток солнечного освещения. Тис ягодный – представитель многоярусных формаций. В абсолютном большинстве случаев он произрастает под пологом букового древостоя. Участие других пород в формировании первого яруса – не более 30%. На менее освещённых участках тис произрастает под пологом граба обыкновенного (*Carpinus betulus L.*).

Опытный участок № 2 расположен на территории Северо-Осетинского государственного заповедника. Высота над уровнем моря – 1000-1090 м. Тис представлен как примесь к сложному по составу насаждению из граба, дуба, липы и клёна остролистного (табл. 2).

Таблица 2

**Общая характеристика древостоя с тисом на опытном участке № 2**

**General characteristics of the yew forest on the experimental site № 2**

Характеристики	Единицы измерения	Значения
Высота над уровнем моря	м	1000-1090
Экспозиция склона	–	3
Крутизна склона	градусы	25-30
Состав древостоя по запасу	%	66Г 20Лп 10Кло 3Бук 2Дс
Сомкнутость крон	%	88
Относительная полнота	–	0,8
Средний диаметр древостоя	См	30,3
Средняя высота древостоя	М	21,9
Средний возраст древостоя	лет	110
Густота	экз./га	467
Тип леса	–	Грабинник разнотравный
Запас древостоя	м <sup>3</sup> /га	180

Тис и молодое поколение других пород на опытном участке формируют отдельный ярус древостоя. Средняя высота деревьев тиса – 3,8 м, численность – 251 экз./га, средний диаметр – 7,4 см. Возраст отдельных деревьев достигает 100 лет. Сравнительный состав и густота древостоев на опытных участках представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Видовой состав и густота древостоев на объектах исследования, экз./га**

**Species composition and density of tree stands at the research sites, pcs./ha**

Номер п/п	Название вида	Древостой с клёном - № 1	Древостой с тисом - № 2
1	Бук восточный ( <i>Fagus orientalis</i> Lipsky)	72	12
2	Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> Pall.)	28	8
3	Граб обыкновенный ( <i>Carpinus betulus</i> L.)	–	162
4	Дуб скальный ( <i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.)	–	4
5	Клен остролистный ( <i>Acer platanoides</i> L.)	24	6
6	Клён Траутфеттера ( <i>Acer trautvetteri</i> Medw.)	182	–
7	Липа крупнолистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	–	24
8	Ольха черная ( <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.)	66	–
9	Тис ягодный ( <i>Taxus baccata</i> L.)	–	251
10	Ясень обыкновенный ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)	11	–
	Итого	383	467

Состав древостоев на опытных участках различается, несмотря на то, что древостой произрастают в одном вертикальном поясе – 1100-1200 м над уровнем моря. Коэффициент общности видов (коэффициент Жаккара) в составе древостоев равен 0,30.

Состав и численность подроста под пологом древостоев во многом зависят от породного состава древостоя и его густоты. Под пологом кленовика численность подроста существенно ниже, чем под пологом грабинника (табл. 4). В определённой степени здесь сказывается влияние густого травостоя, высота которого может превышать 2 м (рис. 1). Естественное возобновление клёна Траутфеттера происходит преимущественно за счёт корневых отпрысков – вегетативным путём.

Таблица 4

**Состав и численность подроста на опытных участках, экз./га**  
**Composition and number of juvenile plants in the experimental plots, pcs./ha**

Название вида	Объект № 1	Объект № 2
Бук восточный ( <i>Fagus orientalis</i> Lipsky)	272	809
Вишня птичья ( <i>Prunus avium</i> L.)	–	17
Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> Pall.)	67	448
Граб обыкновенный ( <i>Carpinus betulus</i> L.)	228	781
Дуб скальный ( <i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.)	–	33
Клен остролистный ( <i>Acer platanoides</i> L.)	49	631
Клён Траутфеттера ( <i>Acer trautvetteri</i> Medw.)	42	–
Липа крупнолистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	67	814
Ольха черная ( <i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.)	467	–
Тис ягодный ( <i>Taxus baccata</i> L.)	–	160
Ясень обыкновенный ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)	28	–
Итого	1220	3693



Рис. 1. Крупнотравье под пологом кленовника  
 Fig. 1. Tall grass under the canopy of maple trees

В составе подроста на сравниваемых лесных участках выявлено 5 общих видов – бук, вяз, граб, клён остролистный и липа. Коэффициент сходства видов равен 0,45.

Тис в составе подроста занимает 4,4%, по высоте представлен средними (от 51 до 150 см) и мелкими (до 50 см) экземплярами. Сухого и усыхающего подроста нет, больше всего мелкого подроста. По состоянию преобладает жизнеспособный подрост (93%), нежизнеспособный и поврежденный встречается довольно редко. Состав и численность подроста по группам высот различаются существенно, основная часть произрастает небольшими группами по 5-8 экз. и одиночно.

Подлесок редкий, включает 5-10 видов. Если под пологом грабинника преобладают кизил обыкновенный и бересклет (4 вида), то под пологом кленовника – смородина Биберштейна. Средняя высота подлеска – 1,1–1,4 м. Подлесочные породы встречаются преимущественно в небольших окнах и просветах между кронами. Численность минимальная (табл. 4).

Таблица 4

**Видовой состав подлеска и его численность под пологом древостоев на объектах исследования**

**Species composition of the undergrowth and its abundance under the canopy of tree stands at the study sites**

Номер п/п	Название вида	Численность, экз./га	
		объект № 1	объект № 2
1	Барбарис обыкновенный ( <i>Berberis vulgaris</i> L.)	–	33
2	Бересклет европейский ( <i>Euonymus europaeus</i> L.)	33	67
3	Бересклет широколистный ( <i>Euonymus latifolius</i> (L.) Mill.)	–	33
4	Бересклет карликовый ( <i>Euonymus nanus</i> M.Bieb.)	–	33
5	Бересклет бородавчатый ( <i>Euonymus verrucosus</i> Scop.)	33	33
6	Бузина черная ( <i>Sambucus nigra</i> L.)	67	–
7	Калина гордовина ( <i>Viburnum lantana</i> L.)	–	33
8	Кизил ( <i>Cornus mas</i> L.)	–	101
9	Лещина ( <i>Corylus avellana</i> L.)	33	33
10	Плющ колхидский ( <i>Hedera colchica</i> (K. Koch) K. Koch)	–	67
11	Смородина Биберштейна ( <i>Ribes caucasicum</i> M.Bieb.)	78	–
12	Черника кавказская ( <i>Vaccinium arctostaphylos</i> L.)	–	201
	Итого	244	634

В составе подлеска, в сравниваемых фитоценозах, количество общих видов меньше, чем в древостое и подросте, – всего 25%.

Живой напочвенный покров в фитоценозах с тисом ягодным во многих случаях практически отсутствует [Базаев и др., 2023]. Неизменными спутниками тиса ягодного из состава живого напочвенного покрова являются вороний глаз, купена кавказская, щитовник картузианский и петров крест – самые теневыносливые растения горных лесов Северной Осетии [Базаев и др., 2016].

Под пологом кленовника живой напочвенный покров представлен густым высокотравьем, общее проективное покрытие которого достигает 94%. В составе травостоя преобладают крупные злаки и несколько видов зонтичных. По сравнению с грабником, видовой состав травостоя под пологом кленовника разнообразнее.

На опытном участке с тисом ягодным живой напочвенный покров представлен фрагментарно. В составе травяно-кустарничкового яруса зафиксировано 16 видов (табл. 5). Его суммарное проективное покрытие (Пр) составляет менее 24%. За исключением нескольких видов, величина встречаемости (В) основного количества видов не превышает 30%.

Таблица 5

**Видовой состав и обилие травянистых растений под пологом древостоя с тисом**

**Species composition and abundance of herbaceous plants under the canopy of a tree stand with yew**

Название вида	Объект № 1		Объект № 2	
	В, %	Пр, %	В, %	Пр, %
Борщевик Монтегацци ( <i>Heracleum mantegazzianum</i> Sommier & Levier)	42	1,0	–	–
Борщевик шершавый ( <i>Heracleum asperum</i> (Hoffm.) M. Bieb.)	38	2,6	–	–
Вороний глаз ( <i>Paris incompleta</i> M. Bieb.)	16	0,1	46	0,2
Диоскорея обыкновенная – тамус ( <i>Dioscorea communis</i> (L.) Caddick & Wilkin)	–	–	24	1,0
Дудник лесной ( <i>Angelica sylvestris</i> L.),	24	1,0	–	–
Ежа сборная ( <i>Dactylis glomerata</i> L.),	24	0,4	–	–
Ежевика широколистная ( <i>Rubus platyphyllos</i> K. Koch)	12	1,2	28	3,2
Звездчатка жестколистная ( <i>Stellaria holostea</i> L.)	22	2,8	–	–

Окончание табл. 3

Название вида	Объект № 1		Объект № 2	
	В, %	Пр, %	В, %	Пр, %
Зубянка ( <i>Dentaria bulbifera</i> Bieb.)	–	–	72	10,2
Кислица ( <i>Oxalis acetosella</i> L.)	12	0,3	12	0,2
Красавка обыкновенная ( <i>Atropa bella-donna</i> L.)	–	–	8	0,1
Купена кавказская ( <i>Polygonatum polyanthemum</i> (M. Bieb.) A. Dietr.)	8	0,1	–	–
Лук медвежий ( <i>Allium ursinum</i> L.)	–	–	48	4,0
Молочай грузинский ( <i>Euphorbia iberica</i> Boiss.)	12	0,2	8	0,1
Овсяница каменистая ( <i>Festuca rupicola</i> Heuff.)	24	0,8	8	0,1
Овсяница гигантская ( <i>Festuca gigantea</i> (L.) Vill.)	22	0,6	–	–
Осока лесная ( <i>Carex sylvatica</i> Huds.)	8	–	8	0,3
Папоротник мужской ( <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott)	28	11,9	28	1,5
Петров крест ( <i>Lathraea squamaria</i> L.)	–	–	24	0,1
Щитовник картузианский ( <i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs)	44	21,7	48	1,4
Плющ колхидский ( <i>Hedera colchica</i> K. Koch.)	–	–	24	0,2
Селезеночник очереднолистный ( <i>Chrysosplenium alternifolium</i> L.)	18	0,3	–	–
Страусник обыкновенный ( <i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod.)	72	48,2	–	–
Фиалка собачья ( <i>Viola canina</i> L.)	12	0,1	8	0,1
Хохлатка узколистная ( <i>Corydalis angustifolia</i> (M. Bieb.) DC.)	12	0,1	–	–
Хозлатка кавказская ( <i>Corydalis caucasica</i> DC.)	18	0,5	8	0,1
Итого		93,9	–	22,6

При сравнении видового состава живого напочвенного покрова в указанных фитоценозах выявлены существенные различия как по количеству видов, так и по их встречаемости и проективному покрытию. Из 25 видов, выявленных в сравниваемых фитоценозах, общими являются 9; величина коэффициента Жаккара составляет 0,33.

*Фитоценозы с совместным произрастанием тиса и клёна.* В одном из удалённых урочищ Северной Осетии выявлен лесной участок, на котором совместно произрастают тис ягодный и клён высокогорный. Таким образом,

верхний пояс распространения тиса ягодного совмещается с нижним поясом произрастания клёна высокогорного. При этом клён произрастает преимущественно на более пологих склонах северных экспозиций, а тис встречается под пологом древостоев на крутых склонах любой экспозиции.

Опытный участок № 3 удалось подобрать в урочище Зилахар на высоте 1100–1200 м над уровнем моря. Урочище Зилахар расположено в верховьях рек Цраудон и Тамискдон. Здесь тис представлен единичными экземплярами, куртинами и массивами с количеством деревьев разной высоты от 5 до 1000 экз. Площадь обособленных участков с тисом составляет от 0,01 до 3 га. На некоторых участках леса совместно с подростом тиса встречаются крупные, одиночные деревья бука и дуплистые деревья клёна Траутфеттера.

В данном урочище в 60-70-е гг. вдоль основного водораздела на большом протяжении (более 12 км) проведены интенсивные рубки, в ходе которых была выбрана вся товарная древесина. Древостой до рубки состоял из бука (60–70% в составе древостоя), клёна Траутфеттера (10–20%), клёна остролистного (5-10%), ясеня обыкновенного (1–5%), липы крупнолистной (1–5%) и ильма горного (1–3%). Все оставленные на лесосеках крупномерные единичные деревья клёна и бука – фаутные (дуплистые – рис. 2), сильно ветвистые, с низко опущенной кроной, без штамба.



*Рис. 2. Дуплистый ствол клёна Траутфеттера диаметром 110 см в урочище Зилахар на территории РСО-Алания*

*Fig. 2. Hollow trunk of a Trautvetter maple with a diameter of 110 cm in the Zilakhar tract in the Republic of North Ossetia-Alania*

Формирующийся древостой представлен молодняками смешанного состава с преобладанием тиса ягодного или бука восточного. Подрост клёна Траутфеттера чаще всего встречается в виде небольших групп на участках, лишённых листового опада (рис. 3). Такие древесные породы, как ильм горный, граб обыкновенный и ольха черная, представлены в небольшом количестве.



Рис. 3. Самосев клёна Траутфеттера на опытном участке  
Fig. 3. Self-sowing of Trautvetter maple in the experimental plot

Подлесок на опытном участке № 3 представлен редкими небольшими куртинками черники кавказской (*Vaccinium arctostaphylos* L.) и азалии (*Rhododendron ponticum* L.). Единично встречаются бересклет европейский (*Euonymus europaeus* L.), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus* Scop.), бузина черная (*Sambucus nigra* L.), жимолость грузинская (*Lonicera iberica* M. Bieb.), жимолость кавказская (*Lonicera caucasica* Pall.), калина гордовина (*Viburnum lantana* L.) и лещина (*Corylus avellana* L.).

В составе живого напочвенного покрова на данном опытном участке доля общих видов как с кленовником (опытный участок № 1), так и с грабником (опытный участок № 2) составляет более 50%.

*Заключение.* Установлено, что тис ягодный и клён Траутфеттера в определённой степени схожи по требовательности к условиям места произрастания. Об этом свидетельствует совместное произрастание этих лесо-

образующих пород. По составу и структуре растительности различия по компонентам леса незначительные. Наибольшие различия выявлены по количеству видов в составе живого напочвенного покрова.

Тис обладает широкой амплитудой экологической толерантности и может произрастать в самых неблагоприятных лесорастительных условиях. Благодаря высокой теневыносливости он выживает в условиях минимального светового довольствия. Зона произрастания тиса ягодного в настоящее время постепенно расширяется посредством распространения семян птицами.

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

### Библиографический список

Алиев Х.У., Муртазалиев Р.А. Анализ флоры буковых лесов Дагестана // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2010. № 2. С. 37–42.

Арбузов Б.В., Казьмин В.Д. Тис ягодный в Северо-Осетинском заповеднике и на сопредельной территории // Охрана и изучение редких видов растений в заповедниках. М., 1992. С. 92 – 101.

Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А., Гуталь М.М. Рост и развитие тиса под пологом букового древостоя // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 231. С. 7-18. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.7-18.

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

Габеев В.Н. Леса и лесопользование в Северной Осетии в XX столетии. Владикавказ: ИПО СОИГСИ, 2011. 544 с.

Грязькин А.В., Бикетова С.В. Патент на изобретение № 2852509. Способ комплексного учёта растительности экосистем. 2025.

Гумбатов З.И., Кулиев В.Ш. Материалы о фитоценологической структуре тисовых насаждений в лесах Закавказья // Изв. АН Аз.ССР, сер. Биол. 1985. № 4. С. 129–133.

Дендрофлора Кавказа: дикорастущие и культурные деревья и кустарники. *Dicotyledoneae* – двудольные, *Rutaceae* (рутовые) – *Punicaceae* (Гранатовые). Тбилиси: Изд-во АН ГССР, 1970. 303 с.

Дорошина Г.Я., Николаев И.А., Хетагуров Х.М. Мхи сообществ *Acer trautvetteri* Medw. в Северной Осетии // Актуальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран. Владикавказ, 2014. С. 8-11.

Конспект флоры Кавказа. Т. 3 / отв. ред. акад. А.Л. Тахтаджян. СПб.-М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 469 с.

Кочкин А.А., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А., Базаев А.А. База данных по видовому составу растений, сопутствующих клену Траутфеттера: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620188 от 09.02.2016. Заявка № 2015621603. Дата поступления 17 декабря 2015 г.

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

Медведев Я.С. Кавказский подальпийский клен (*Acer Trautvetteri*) // Известия Кавказского общества любителей естествознания и Альпийского клуба. 1880. Кн. 2. С. 9–11.

Николаев И.А., Хетагуров Х.М., Гимельбрант Д.Е., Лавриненко Ю.В., Базаев А.Б. Лихенологическая характеристика древостоев *Acer trautvetteri* Medw. в республике Северная Осетия-Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. 2019. Т. 56, № 4. С. 190–193.

Омарова П.К., Асадулаев З.М. Тис ягодный (*Taxus baccata* L.) в широколиственных лесах предгорного Дагестана // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, №1(8). С. 1998–2001.

Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/11280.html> (дата обращения: 10.01.2026).

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.

Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А., Кочкин А.А. Растения-спутники тиса ягодного: свидетельство о регистрации базы данных RU 2016620966 от 19.07.2016. Заяв. № 2016620711 от 26.05.2016.

Резикова 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.

Рукузов И.А. Тис ягодный (*Taxus baccata* L.), биология и экология в связи с распространением и культурой на юге СССР: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Нальчик, 1974. 24 с.

Хетагуров Х.М. Структурная организация и ресурсы высокогорных кленовников Центрального Кавказа: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Владикавказ, 2018. 32 с.

Хетагуров Х.М., Грязькин А.В. Высокогорные кленовники Северной Осетии. СПб.: Наука, 2013. 146 с.

Хетагуров Х.М., Грязькин А.В., Николаев И.А., Тания И.В., Базаев А.Б. Особенности структуры высокогорных кленовников на южном макросклоне Кавказа // Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. Т. 57, № 2. С. 180–188.

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.

Gryazkin A.V., Gutal M.M., Bazaev A.B., Khetagurov Kh.M., Nikolaev I.A., Syrnikov I.A., Chang Chung Thanh, Vu Van Hung. Resources of woody plants of North Caucasus beech forests // *Agrofor*. 2021. Vol. 6, no. 2. P. 50–59. DOI: 10.7251/AGRENG2102050G.

Fitschen J. *Gehölzflora ein Buch zum Bestimmen der in Mitteleuropa wildwachsenden und angepflanzten Bäume und Sträucher; mit Knospen- und Früchteschlüssel*. Aufl. Wiebelsheim, 2002. XII, 902 s.

Jaccard P. The distribution of the Flora in the alpine zone // *New Phytol*. 1912. Vol. 11, no. 2. P. 37–50. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x.

Korkut D.S., Guller B. Influence of heat treatment on the physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood // *Bioresource Technology*. 2007. Vol. 99, iss. 8. P. 2846–2851. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.06.043.

Mitchell J.G. The history and vegetation dynamics of a yew wood (*Taxus baccata* L.) in S.W. Ireland // *New Phytol*. 1990. Vol. 115, no. 3. P. 573–577. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1990.tb00486.x.

Mountain Flora of Greece. Vol. 1. New York: Cambridge University Press, 1986. 822 p.

Pilger R. *Taxaceae* // *Das Pflanzenreich*. Leipzig, 1903. H. 18 (IV.5). P. 110–116.

Rao A.R., Malaviya M. On the distribution, structure and ontogeny of sclereids in *Taxus baccata* L. // *Proc. National Inst. Sci. India*. Part B. 1965. Vol. 31. P. 114–122.

Schirone B., Ferreira R.C., Vessella F., Schirone A., Piredda R., Simeone M.C. *Taxus baccata* in the Azores: a relict form at risk of imminent extinction // *Biodivers. Conserv.* 2010. Vol. 19. P. 1547–1565. DOI: 10.1007/s10531-010-9786-0.

Scholz E. Blütenmorphologische und biologische Untersuchungen bei *Acer pseudoplatanus* L. und *Acer platanoides* L. // *Der Zuchter*. 1960. Bd. 30. S. 11–16.

Slepych W.W., Kotljarow I.I., Pridnja M.W. Neue Fundorte der Eibe (*Taxus baccata* L.) in Nord-Kaukasus (Russland, Karatschajewo-Tscherkessien) // *Der Eibenfreund*. 2009. Bd. 15. S. 132–140.

Svenning J.-C., Magård E. Population ecology and conservation status of the last natural population of English yew *Taxus baccata* in Denmark // *Biological Conservation*. 1999. Vol. 88, iss. 2. P. 173–182. DOI: 10.1016/S0006-3207(98)00106-2.

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.

Thomas P.A., Polwart A. *Taxus baccata* L. Biological flora of the British Isles // *Journal of Ecology*. 2003. Vol. 91, iss. 3. P. 489–524. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2003.00783.x.

Wolf E. *Acer trautvetteri* Medw. – Kaukasischer Hochgebirgsahorn // *Gartenflora*. Berlin, 1981. H. 40. S. 263–266.

Wyka T., Robakowski P., Żytkowiak R. Leaf age as a factor in anatomical and physiological acclimative responses of *Taxus baccata* L. needles to contrasting irradiance environments // *Phytosynth. Res.* 2008. Vol. 95. P. 87–99. DOI: 10.1007/s1120-007-9238-1.

## References

Aliev Kh.U., Murtazaliev A.N. Analysis of the flora of beech forests of Dagestan. *Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences*, 2010, no. 2, pp. 37-42. (In Russ.)

Arbuzov B.V., Kazmin V.D. Berry yew in the North Ossetian nature Reserve and in the adjacent territory. *Protection and study of rare plant species in nature reserves*. Moscow, 1992, pp. 92-101. (In Russ.)

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov Kh.M., Nikolaev I.A., Kochkin A.A. Plants-Companions of the Berry Yew: certificate of registration of the database RU 2016620966 dated 19.07.2016. Appl. No. 2016620711 dated 26.05.2016. (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., Khetagurov H.M., Nikolaev I.A., Gutal M.M. Growth and development of yew under the canopy of a beech stand. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2020, iss. 231, pp. 7-18. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.7-18. (In Russ.)

Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov H.M. Berry yew in the Cauca-sus: monograph. 2nd ed. St. Petersburg: Lan, 2023. 132 p. (In Russ.)

Dendroflora of the Caucasus: wild plants and cultivated trees and shrubs. *Dicotyledoneae – Dicotyledons, Rutaceae – Punicaceae*. Tbilisi: Publishing House of the Academy of Sciences of the GSSR, 1970. 303 p. (In Russ.)

Doroshina G.Ya., Nikolaev I.A., Khetagurov Kh.M. Mosses of the *Acer trautvetteri* Medw. communities in North Ossetia. *Actual Problems of Ecology and Biodiversity Conservation in Russia and Adjacent Countries*. Vladikavkaz, 2014. P. 8-11. (In Russ.)

Fitschen J. Gehölzflora ein Buch zum Bestimmen der in Mitteleuropa wildwachsenden und angepflanzten Bäume und Sträucher; mit Knospen- und Früchteschlüssel. Aufl. Wiebelsheim, 2002. XII, 902 s.

The Flora of the Caucasus. Vol. 3 / ed. by. acad. A.L. Takhtajan. St. Petersburg-Moscow: KMK, 2008. 469 p. (In Russ.)

Gabeev V.N. Forests and Forest Management in North Ossetia in the 20th Century. Vladikavkaz: IPO SOIGSI, 2011. 544 p. (In Russ.)

Gryazkin A.V., Biketova S.V. Patent for invention № 2852509. Method for comprehensive accounting of vegetation in ecosystems. 2025. (In Russ.)

Gryazkin A.V., Gutal M.M., Bazaev A.B., Khetagurov Kh.M., Nikolaev I.A., Syrnikov I.A., Chang Chung Thanh, Vu Van Hung. Resources of woody plants of North Caucasus beech forests. *Agrofor*, 2021, vol. 6, no. 2, pp. 50-59. DOI: 10.7251/AGRENG2102050G.

Gumbatov Z.I., Kuliev V.Sh. Materials on the phytocenological structure of yew plantations in the forests of Transcaucasia. *Izvestiya AN Az.SSR, ser. Biol.*, 1985, no. 4, pp. 129–133. (In Russ.)

Jaccard P. The distribution of the Flora in the alpine zone. *New Phytol.*, 1912, vol. 11, no. 2, pp. 37-50. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x.

Khetagurov Kh.M. Structural organization and resources of high-mountain maple forests of the Central Caucasus: author's abstract. Diss. ... Dr. Biol. Sci. Vladikavkaz, 2018. 32 p. (In Russ.)

Khetagurov Kh.M., Gryazkin A.V. High mountain maple forests of North Ossetia. St. Petersburg: Nauka, 2013. 146 p. (In Russ.)

Khetagurov Kh.M., Gryazkin A.V., Nikolaev I.A., Tania I.V., Bazaev A.B. Features of the Structure of High-Altitude Maple Forests on the Southern Macroslope of the Caucasus. *Izvestiya of the Gorsky State Agrarian University*, 2020, vol. 57, no. 2, pp. 180-188. (In Russ.)

Kochkin A.A., Gryazkin A.V., Khetagurov Kh.M., Nikolaev I.A., Bazaev A.A. Database on the Species Composition of Plants Associated with the Trautvetter Maple: certificate of State Registration of the Database No. 2016620188 dated 09.02.2016. Appl. No. 2015621603. Date of Submission: 17 December 2015. (In Russ.)

Korkut D.S., Guller B. Influence of heat treatment on the physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology*, 2007, vol. 99, iss. 8, pp. 2846-2851. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.06.043.

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

Medvedev Ya.S. The Caucasian Subalpine Maple (*Acer Trautvetteri*). *Izvestiya of the Caucasian Society of Natural Science Lovers and the Alpine Club*, 1880, book 2, pp. 9-11. (In Russ.)

Mitchell J.G. The history and vegetation dynamics of a yew wood (*Taxus baccata* L.) in S.W. Ireland. *New Phytol.*, 1990, vol. 115, no. 3, pp. 573-577. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1990.tb00486.x.

Mountain Flora of Greece. Vol. 1. New York: Cambridge University Press, 1986. 822 p.

Nikolaev I.A., Khetagurov Kh.M., Gimelbrant D.E., Lavrinenko Yu.V., Bazaev A.B. Lichenological characteristics of stands of *Acer trautvetteri* Medw. in the Republic of North Ossetia-Alania. *Izvestiya of the Gorsky State Agrarian University*, 2019, vol. 56, no. 4, pp. 190-193. (In Russ.)

Omarova P.K., Asadulaev Z.M. The European Yew (*Taxus baccata* L.) in the Broad-leaved Forests of the Foothill Region of Dagestan. *Izvestiya of the Samara Scientific Center of the RAS*, 2012, vol. 14, no. 1(8), pp. 1998-2001. (In Russ.)

Pilger R. *Taxaceae. Das Pflanzenreich*. Leipzig, 1903, h. 18 (IV.5), pp. 110-116.

Plantarium. Plants and Lichens of Russia and Adjacent Countries: Open Online Atlas and Plant Identifier. URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/11280.html> (accessed January 10, 2026). (In Russ.)

Popovich A.V. Distribution of *Taxus baccata* L. in the Novorossiysk Floristic Region (North-Western Caucasus). *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Department of Biology*, 2015, no. 3, pp. 21-27. (In Russ.)

Rao A.R., Malaviya M. On the distribution, structure and ontogeny of sclereids in *Taxus baccata* L. *Proc. National Inst. Sci. India. Part B*, 1965, vol. 31, pp. 114-122.

Rezchikova O.N. The nature of *Taxus baccata* renewal in the western Caucasus. *Bulletin of Adygea State University. Series 4: Natural Sciences, Mathematics and Technical Sciences*, 2017, iss. 3, pp. 24-28. (In Russ.)

Ruguzov I.A. Yew berry (*Taxus baccata* L.), biology and ecology in connections with distribution and culture in the south of the USSR: author's abstract. Diss. ... Cand. Biol. Sci. Nalchik, 1974. 24 p. (In Russ.)

Schirone B., Ferreira R.C., Vessella F., Schirone A., Piredda R., Simeone M.C. *Taxus baccata* in the Azores: a relict form at risk of imminent extinction. *Biodivers. Conserv.*, 2010, vol. 19, pp. 1547-1565. DOI: 10.1007/s10531-010-9786-0.

Scholz E. Blütenmorphologische und biologische Untersuchungen bei *Acer pseudoplatanus* L. und *Acer platanoides* L. *Der Zuchter*, 1960, bd. 30, ss. 11-16.

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

Svenning J.-C., Magård E. Population ecology and conservation status of the last natural population of English yew *Taxus baccata* in Denmark. *Biological Conservation*, 1999, vol. 88, iss. 2, pp. 173-182. DOI: 10.1016/S0006-3207(98)00106-2.

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.

Thomas P.A., Polwart A. *Taxus baccata* L. Biological flora of the British Isles. *Journal of Ecology*, 2003, vol. 91, iss. 3, pp. 489-524. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2003.00783.x.

Wolf E. *Acer trautvetteri* Medw. – Kaukasischer Hochgebirgsahorn. *Gartenflora*. Berlin, 1981, h. 40, pp. 263-266.

Wyka T., Robakowski P., Żytkowiak R. Leaf age as a factor in anatomical and physiological acclimative responses of *Taxus baccata* L. needles to contrasting irradiance environments. *Phytosynth. Res.*, 2008, vol. 95, pp. 87-99. DOI: 10.1007/s11120-007-9238-1.

Материал поступил в редакцию 16.01.2025

---

**Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А.** Тис ягодный и клён высокогорный на северном макросклоне Кавказа // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 182–202. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.182-202

Представлены сравнительные данные по видовому составу растительности среднего пояса горных лесов на северных макросклонах Кавказа. Цель исследования – сравнение видового состава растений по компонентам

фитоценоза в горном поясе произрастания тиса ягодного и клёна Траутфеттера. Объект исследования – лесные формации с тисом ягодным и клёном высокогорным на высоте около 1100 м над уровнем моря. Учёт растительности одновременно по всем компонентам фитоценоза проводили на круговых учётных площадках радиусом 178,5 см в соответствии с патентом РФ № 2852509. Кленовники представлены древостоями смешанного состава (59% – клён высокогорный, 14% – бук восточный, 11% – ольха черная, 8% – ильм горный, 6% – клён остролистный, 3% – ясень обыкновенный). В древостоях, под пологом которых произрастает тис, преобладает граб обыкновенный – 66% по запасу древесины. Состав подроста в кленовниках представлен 8 видами с преобладанием клёна остролистного, под буковым древостоем – 3 видами с преобладанием бука восточного. Видовой состав подлеска разнообразнее в кленовниках – 8 видов против 4 под пологом грабинника. Живой напочвенный покров представлен 16-20 видами. Коэффициент общности видов составляет от 0,33 до 0,45. Установлено совпадение верхнего пояса распространения тиса ягодного – *Taxus baccata* – с нижним поясом произрастания клёна высокогорного – *Acer trautvetteri*. При этом клён произрастает преимущественно на склонах северных экспозиций, а тис – под пологом древостоев на склонах любой экспозиции, преимущественно крутых и труднодоступных. Состав древостоев, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова в сравниваемых лесных экосистемах различается. Совместное произрастание тиса ягодного и клёна высокогорного зафиксировано в урочище Зилахар РСО-Алания на высоте 1100-1200 м над уровнем моря. Полученные результаты могут быть использованы при обновлении лесных планов и лесохозяйственных регламентов.

Ключевые слова: лесные экосистемы, высокогорный кленовник, тис ягодный, древостой, подрост, подлесок, живой напочвенный покров.

**Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov Kh.M., Nikolaev I.A.** *Taxus baccata* L. and *Acer trautvetteri* Medw. on the northern macroslope of the Caucasus. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 182–202 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.182-202

The article presents comparative data on the species composition of the vegetation of the middle belt of mountain forests on the northern macroslopes of the Caucasus. The purpose of the study is to compare the species composition of plants according to the components of the phytocenosis in the vertical zone of *Taxus baccata* and *Acer trautvetteri*. The object of the study is forest formations with *Taxus baccata* and *Acer trautvetteri* at an altitude of about 1100 m above sea level. The vegetation was studied simultaneously for all components of the phytocenosis on circular accounting sites with a radius of 178.5 cm in accordance with Russian Patent № 2852509. The maple forests are represented by mixed-species stands: 59% – *Acer*

*trautvetteri* Medw., 14% – *Fagus orientalis*, 11% – *Alnus glutinosa*, 8% – *Ulmus laevis*, 6% – *Acer platanoides*, and 3% – *Fraxinus excelsior*. In the stands where yew grows, the common hornbeam dominates, accounting for 66% of the total wood stock. The saplings in maple forests consist of 8 species, with a predominance of *Acer platanoides*, while the saplings in beech forests consist of 3 species, with a predominance of *Quercus petraea*. The undergrowth in maple forests is more diverse than in beech forests, with 8 species compared to 4 species. The living ground cover consists of 16-20 species. The species diversity coefficient ranges from 0.33 to 0.45. The coincidence of the upper distribution zone of the *Taxus baccata* with the lower belt of the *Acer trautvetteri* has been established. At the same time, maple grows mainly on the slopes of northern expositions, and yew under the canopy of stands – mainly on steep, inaccessible slopes of any exposure. The composition of stands, saplings, undergrowth, and living ground cover varies in the compared forest ecosystems. The co-occurrence of *Taxus baccata* and *Acer trautvetteri* has been recorded in the Zilakhar tract of the North Ossetian-Alania Republic at an altitude of 1100–1200 m above sea level. The results obtained can be used in the updating of forest plans and forest management regulations.

**Key words:** forest ecosystems, high-altitude maple forests, yew forests, tree stands, saplings, undergrowth, living ground cover.

---

**БАЗАЕВ Анвар Батразович** – доцент Горского государственного аграрного университета, кандидат биологических наук. SPIN-код: 7191-7240. ORCID: 0000-0002-0979-3858. Scopus AuthorID: 5720460938.

362040, ул. Кирова, д. 37, г. Владикавказ, Россия. E-mail: bazanvar@yandex.ru

**BAZAEV Anwar B.** – PhD (Biological), Associate Professor, Gorsky State Agrarian University. SPIN-code: 7191-7240. ORCID: 0000-0002-0979-3858. Scopus AuthorID: 5720460938.

362040. Kirov str. 37. Vladikavkaz. Russia. E-mail: bazanvar@yandex.ru.

**ГРЯЗЬКИН Анатолий Васильевич** – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук. Researcher ID: C-6699-2018. ORCID: 0000-0002-7901-2180.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lesovod@bk.ru

**GRYAZKIN Anatoly V.** – DSc (Biological). Professor, St.Petersburg State Forest Technical University. Researcher ID: C-6699-2018. ORCID: 0000-0002-7901-2180.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg, Russia. E-mail: lesovod@bk.ru

**ХЕТАГУРОВ Хетаг Муратович** – профессор Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова, доктор биологических наук. ResearcherID: AAI-6375-2021. ORCID: 0000-0002-2684-897X.

362025, ул. Ватутина, д. 44-46, г. Владикавказ, Россия. E-mail: zaz81@inbox.ru

**KHETAGUROV Khetag M.** – DSc (Biological), Professor, North Ossetian State University. ResearcherID: AAI-6375-2021. ORCID: 0000-0002-2684-897X.

362025. Vatutina str. 44-46. Vladikavkaz. Russia. E-mail: zaz81@inbox.ru

**НИКОЛАЕВ Игорь Анатольевич** – доцент Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова, кандидат биологических наук. ORCID: 0000-0002-2379-7601.

362025, ул. Ватутина, д. 44-46, г. Владикавказ, Россия. E-mail: bootany@yandex.ru

**NIKOLAEV Igor A.** – PhD (Biological), Associate Professor, North Ossetian State University. ORCID: 0000-0002-2379-7601.

362025. Vatutina str. 44-46. Vladikavkaz. Russia. E-mail: bootany@yandex.ru

**О.В. Серебряков, Н.Л. Прохорова, Н.Н. Харченко**

**ОТКЛИК БИОТЫ НА ИЗМЕНЕНИЯ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ПРИМЕРЕ ФЕНОРИТМОВ БЕРЕЗЫ (*BETULA L.*),  
ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЛЕСНЫХ МАССИВАХ  
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Введение.* В настоящее время изучение влияния климата на лесную региональную систему Воронежской области имеет прикладной характер. Особую актуальность приобретает изучение адаптивных реакций растений на температурные показатели. В данном случае температура может выступать определяющим индикатором воздействия на растительность. Исследование проводится с опорой на материалы многолетних фенологических наблюдений в регионе.

Целью нашей работы является анализ тенденций смещения сроков наступления вегетативных фенологических явлений в сопоставлении с характером климатических изменений на примере показателей температуры воздуха и атмосферных осадков. Для достижения поставленной цели выполняли статистический анализ фенологических фаз и явлений березы в период с 1961 по 2019 гг., разделенный на два основных базовых климатических периода, на территории Воронежского биосферного заповедника, проводили фенологические наблюдения для сбора данных фенологических фаз березы на территории Пригородного Правобережного лесничества Воронежской области с 2019 по 2024 гг., анализировали климатические изменения по данным метеостанции Росгидромета 34123-Воронеж с 1961 по 2024 гг.

Объект исследования – популяция берёз (*Betula L.*) Воронежской области.

Предмет исследования – фенологические фазы и явления березы (*Betula*) и сопряжение ее фенологических ритмов с климатическими показателями.

Большинство зарубежных и российских ученых считают, что в настоящее время фиксируется смещение сроков фенологических дат; календарные даты сезонных явлений сдвигаются. Замечено, что происходит незначи-

тельное смещение суммы эффективных температур [Шумик, 2008]. Исследования, проводимые в Центральной Европе на юге Германии, демонстрируют деградацию березняков под воздействием изменения климата. Ученые считают, что березы уязвимы к воздействию климатических изменений, так как этот вид чувствителен к повышению температуры и понижению количества осадков [Hájková et al., 2020; Rojo et al., 2021].

В своей работе А.В. Кузнецов [2015] зафиксировал, что происходит изменение суммы эффективных температур. При повышении температуры в весенний период можно наблюдать раннюю весну в регионе.

Пространственная структура фенологических изменений в данный момент изучена недостаточно, хотя неопровержимо доказано влияние изменения климата на фенологические фазы различных видов растений. Используя обширную базу данных фенологических наблюдений по многим таксономическим группам, имеющую высокое пространственное разрешение и охватывающую длительный временной период, выявили, что сроки и длительность фенологических фаз зависят от географической широты и климата местности [Фомин, Фомина, 2023].

В работах И.И. Сапельниковой установлены количественные показатели зависимости начала зеленения и цветения древесно-кустарниковых видов от хода гидротермического режима первой половины года для Воронежского биосферного заповедника. Сопряжение климатических показателей с феноданными имеет прикладной характер в исследованиях влияния климатических воздействий на лесную региональную систему Воронежской области [Сапельникова, 2022].

На данный момент березняки региона начинают усыхать. Многие лесопатологи бьют тревогу по поводу санитарного состояния древесных насаждений. Отмечается, что это может быть связано с увеличением длительного периода засухи. Еще одной версией выступает снижение уровня грунтовых вод, что в последующем приводит к гибели берез. Данные факторы объясняют важность подобных исследований для повышения эффективности управления лесного хозяйства Воронежской области для изучения механизмов адаптации и митигации древостоев.

Важно отметить, что при изучении рода Береза, фенологические реакции видов могут быть близки. Береза повислая и береза пушистая имеют схожие показатели, что позволяет обобщать данные по этим видам, используя родовое название [Елагин, Лобанов, 1976; Воскова и др., 2007].

*Материалы и методика исследования.* Данные по климатическим показателям были отобраны из официальных источников Всероссийского

научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. Для анализа массива метеорологических данных используется усреднение данных по двум базовым климатическим периодам. Для удобства анализа температура атмосферного воздуха анализировалась помесячно. Также годовые температурные показатели были поделены на два периода – теплый и холодный. Для анализа были отобраны данные метеостанции Росгидромета 34123-Воронеж.

Для исследования были выбраны следующие фенологические ритмы березы: начало распускания листьев, начало цветения, окончание цветения, начало листопада, окончание листопада.

В ходе работ использовалась методика наблюдения для установления сроков и регистрации феноданных [Соловьев, 2005]. Для усреднения фенологических данных по двум базовым климатическим периодам с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2020 гг. использовались классические статистические методы. Все данные представлены в виде непрерывного ряда [Зайцев, 1981].

Полевые работы проводились на территории квартала 34 Пригородного Правобережного лесничества Воронежской области, который находится в сторону севера от регионального центра. В ходе исследования на территории были отобраны 60 модельных деревьев березы пушистой в возрасте 50–60 лет, по которым производили фиксацию наступления фенологических фаз и явлений. Для исследования отбирали здоровые, взрослые деревья, визуально схожие между собой. При массовом наступлении фазы у 10% модельных деревьев фиксировали наступление фазы.

Для изучения фазы начала сокодвижения с 1991 по 2018 гг. использовали массив данных кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Остальные фенологические фазы и явления березы пушистой анализировали при помощи массива фенологических данных с 1961 по 2020 гг. Воронежского биосферного заповедника им. В.М. Пескова.

*Результаты исследования и обсуждение.* Климатические показатели Воронежской области за два базовых климатических периода несколько отличаются. Происходит изменение в среднемесячных температурных показателях, которые в последующем влияют на среднегодовые температуры.

Стоит отметить, что для большинства фенологических фаз и явлений березы особое влияние имеют температурные показатели. При переходе температур через 3 °С фиксируется начало вегетационного периода.

На рис. 1 представлена сводная диаграмма температурных показателей по месяцам года. Изменения фиксируются за весь годовой период. Зима стано-

вится теплой, о чем говорит перепад температур в январе и феврале. Отдельно стоит обратить внимание на температурные показатели марта. Зафиксировано отклонение с перепадами в  $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ : в период 1961–1990 среднемесячные температуры марта составили  $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в 1991–2020 –  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

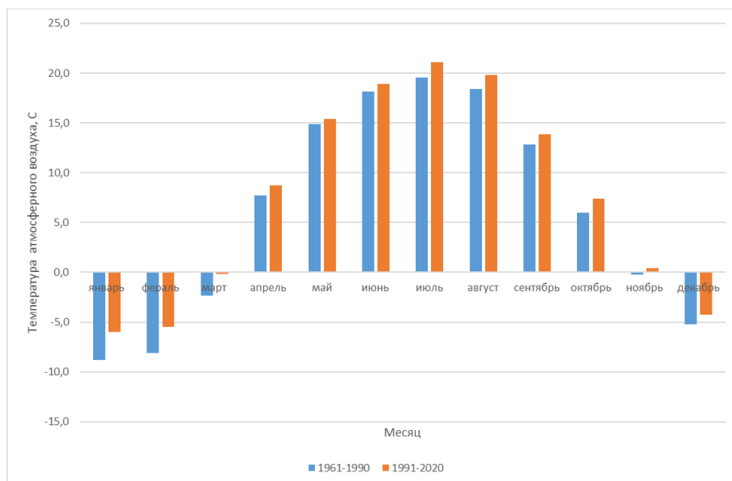


Рис. 1. Тенденция изменений среднемесячных температур за два базовых климатических периода по данным метеостанции 34123-Воронеж

Fig. 1. Trends in average monthly temperatures over two basic climatic periods according to the data of the meteorological station 34123-Voronezh

Самое большое отклонение фиксируется в июле – от  $+19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Подобные изменения влияют на повышение прогрева почвы, что может привести к изменению гидротермических характеристик территории.

В осеннем периоде отмечено увеличение количества тёплых дней, которые напрямую влияют на фазу окончания листопада у берез. Из-за сохранения теплого и бездождливого периода листья могут задерживаться на ветвях растений. В сентябре отклонение составило свыше  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . С каждым годом сентябрь становится все более схож с летними месяцами. Важно отметить, что на процесс вегетации влияет фотопериодизм, который подает сигнал растениям переходить к стадии завершения биоактивности.

Так как большинство основных индикаторных фенологических рядов березы выпадает на весенний период, нами была изучена степень отклонения температур по всем весенний месяцам.

В табл. 1 представлены данные по температурным отклонениям в месяцах, на которые приходится начало фенологических явлений. Наибольшее отклонение фиксируется в марте – 2,2 °С. В осенний период, в октябре оно составило 1,5 °С, что свидетельствует об увеличении количества теплых дней. В целом все температурные месячные показатели отражают повышение в 1 °С, что говорит о достаточно быстрых темпах глобального потепления в регионе. Подобные температурные изменения напрямую влияют на феноритмы березы пушистой в регионе.

Таблица 1

**Степень отклонения усредненных температур по двум базовым климатическим периодам**  
**The degree of deviation of the average temperatures over the two basic climatic periods**

Год /месяц	Март	Апрель	Май	Сентябрь	Октябрь
1961–1990	-2,3	7,6	14,9	12,8	5,9
1991–2020	-0,1	8,7	15,4	13,9	7,4
Отклонение	2,2	1,1	0,5	1,1	1,5

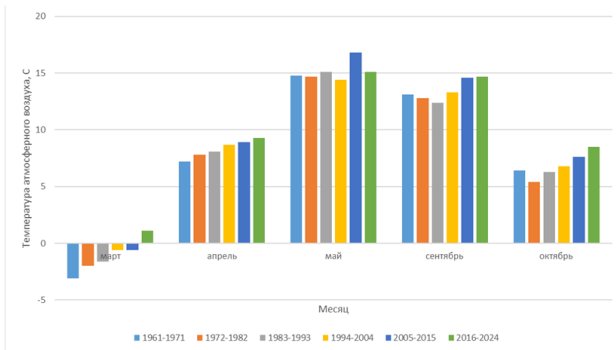


Рис. 2. Изменение среднемесячных температур атмосферного воздуха по десятилетиям в месяцы, на которые выпадают сроки начала и окончания вегетации берез

Fig. 2. Change in average monthly atmospheric air temperatures over decades in months, that mark dates of the beginning and end of the birch vegetation

Анализируя диаграмму на рис. 2, можно сделать следующие выводы. За исследуемый период средние температуры марта стремительно изменяются в положительную сторону – с -3,1 °С до +1,1 °С. Подобные скачки

привели к переходу марта из холодного в теплый месяц. Апрель вслед за мартом неуклонно наращивает температурные показатели, становясь с каждым годом теплее. Май оказался наиболее постоянным, сохраняя температуру в пределах нормы. В осенний период происходит постоянное повышение среднемесячных температур.

В ходе исследования динамики отклика биоты на примере березы пушистой были замечены следующие особенности. На территории региона с каждым десятилетием весенний период начинается раньше. Повышение среднемесячных температур марта побуждает древесные насаждения к более раннему началу вегетации.

Динамику изменения фазы начала сокодвижения проследить не удалось, так как собрано недостаточное количество данных. По этой причине отсутствует информация за первый базовый климатический период. По данным 1991–2020 гг. фаза начала сокодвижения отклоняется с конца марта на середину-начало марта. Это объясняется повышением среднемесячной температуры в марте и увеличением дней перехода через 0 °С.

Появление листьев по статистике начинается в среднем на 3 дня раньше обычного, что свидетельствует о влиянии температур на биологические ритмы древесных насаждений (рис. 3).

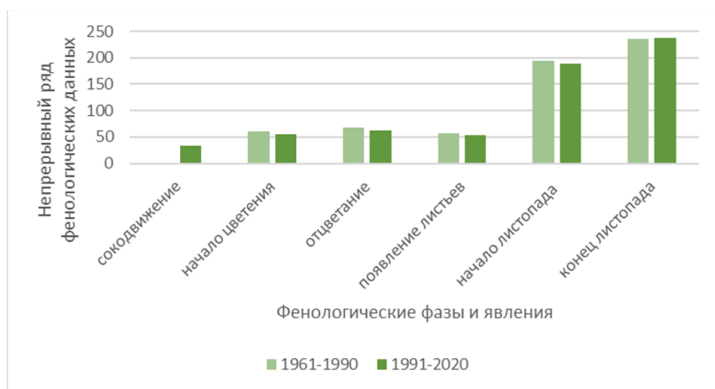


Рис. 3. Динамика изменений наступления фенофаз и явлений за два климатических периода на территории Воронежской области

Fig. 3. Dynamics of changes in the onset of phenophases and phenomena over two climatic periods in the Voronezh Region

В табл. 2 представлено сопряжение фенологических фаз с температурными показателями и атмосферными осадками. По всем показателям про-

исходят отклонения, которые отражают степень влияния глобального потепления на лесную систему региона. Среднегодовая температура теплого периода отклонилась на 1,2 °С, среднегодовая температура холодного периода – на 1,8 °С.

Таблица 2

**Сопряжение наступления фенологических фаз и явлений березы пушистой с климатическими показателями в Воронежской области**

**Correlation of phenological phases and phenomena of the downy birch with climatic indicators in the Voronezh region**

	1961–1990			1991–2020		
	непрерывный ряд [Зайцев, 1981]	календарная дата	Доверительный интервал непрерывного ряда	непрерывный ряд [Зайцев, 1981]	календарная дата	Доверительный интервал непрерывного ряда
начало цветения	60±7	29.04	56...63	56±5	25.04	54...58
отцветание	68±7	7.05	65...71	62±5	1.05	60...64
появление листьев	57±8	26.04	53...61	54±5	23.04	52...56
начало листопада	194±7	10.09	191...197	189±8	5.09	185...193
конец листопада	235±6	21.09	232...238	238±6	24.10	235...241
Климатические показатели						
Среднегодовая температура теплого периода (°С)	+13,9			+15,1		
Среднегодовая температура холодного периода (°С)	–4,9			–3,1		
Кол-во атмосферных осадков в теплый период (мм)	375			361		
Кол-во атмосферных осадков в холодный период (мм)	103			91		

*Примечание:*  $N \pm \sigma$  – среднее значение ряда и его стандартное отклонение. Доверительный интервал посчитан с точностью 99,9%. Доверительный интервал отображает истинные средние значения ряда данных [Тишин, Чижикова, 2022]. Непрерывный ряд основан на [Зайцев, 1981].

В сравнении двух базовых периодов в зимний период потепление идет гораздо интенсивнее, чем в летний. При этом в оба периода фиксируется уменьшение количества атмосферных осадков. Подобные изменения вли-

яют на гидротермический режим региона, вследствие чего лето становится сухим и жарким, а зима – теплой и бесснежной.

Бесснежность в зимний период несет серьезные последствия для лесных экосистем в целом. У большинства рек региона снеговое питание. Из-за постоянного снижения запасов снежного покрова в зимний период происходит дефицит водооборота у рек. В последующем это влияет на лесные экосистемы, так как большинство массивов расположены по берегам региональных рек. Подобные изменения могут привести к нарушению вегетационных процессов лесной растительности.

Отдельно рассмотрены средние температурные показатели весеннего периода. Изменение составило 1,3 °C выше нормы, что объясняет раннее начало сокодвижения и распускания листьев. Температуры осеннего периода отклонились на 1 °C, что привело к увеличению более теплого осеннего периода на территории региона.

В целом изучение отклика биоты на примере фенофаз и явлений березы пушистой показывает положительный результат в сопряжении с температурными показателями.

В ходе проведенного исследования была замечена тенденция зависимости наступления фенологических ритмов от температурных показателей. В Воронежской области данный вид научно-исследовательской работы проводится на особо охраняемых территориях. Работы для Воронежского биосферного заповедника подтверждают наши результаты. В ходе изучения летописи природы ученые пришли к выводу, что наступление фенологических явлений напрямую зависит от температурных показателей. Особо сильную зависимость можно увидеть в весенних явлениях, когда сумма эффективных температур не настолько велика. Аномально теплая весна способствует ускорению метаболизма древесных насаждений, что подтверждает наш результат. При более ранних сроках начала вегетации наблюдается более ранняя стадия пожелтения листьев в осенний период [Сапельникова, 2022]. Отмечается, что 2020 г. стал самым теплым за столетие. Появление листьев и цветение древесных пород на территории заповедника регистрировались раньше обычного. Анализ фенологических ритмов по двум базовым периодам демонстрирует смещение наступления примерно на 5 дней раньше обычного.

В Хоперском заповеднике была зафиксирована тенденция смещения вегетационных процессов у древесных растений. Ускорение сроков наступления распускания листьев у берез связано не только с повышением температуры атмосферного воздуха, но и со скоростью стаивания снежного покрова

[Короткова, 2021]. Особое внимание уделяется 2020 г., когда зимний период оказался бесснежным. Вся растительность заповедника сместила наступление фенофаз на более ранние сроки. Анализ изменения температурных показателей в период с 1939 по 2020 гг. отражает повышение среднемесячных температурных значений. В 2020 г. отмечен сильный температурный скачок в феврале, марте и апреле. Исследование по двум базовым климатическим периодам подтверждает повышение температуры воздуха в холодный и теплый период на территории Воронежской области. Отмечается, что повышение температуры воздуха в 2020 г. повлияло на более ранние сроки начала цветения и распускания листьев многих древесных пород Хоперского заповедника. Вторым базовым климатический период считается самым теплым. Смещение сроков березы пушистой фиксируется повсеместно на территории Воронежской области. Таким образом, динамика изменения климатических факторов на примере феноритмов березы в лесных массивах Воронежской области демонстрирует отклик в изменении сроков наступления фенологических фаз и явлений для растений.

Данные исследований в регионе подтверждают высокую зависимость фенологической ритмики от метеорологических факторов.

*Заключение.* В ходе исследования были проанализированы климатические изменения на территории Воронежской области. Проведен анализ связи ритмики фенофаз березы пушистой с атмосферным воздухом. Проведен сбор фенологических данных на территории Правобережного лесничества.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. В сравнении двух базовых климатических периодов происходит изменение температурного режима на территории региона. В целом среднегодовая температура атмосферного воздуха повысилась примерно на 1,5 °С, в теплый период – на 1,2 °С, в холодный период – на 1,8 °С. Подобный скачок связан с резким потеплением марта и ноября, которые ранее редко переходили через 0 °С по среднемесячным значениям. На данный момент с 2019 по 2024 гг. среднемесячная температура ноября стабильно превышает 0 °С. Март в последнее десятилетие показывает рекордно теплые значения. Данные изменения напрямую влияют на биологические ритмы лесных массивов Воронежской области;

2. Прямая зависимость распускания листьев и зацветания связана с изменением температурных показателей. Повышение температуры в весенний период способствовало ускорению биологических ритмов берез на территории региона. Начало и окончание листопада показывают слабую сопряженность с температурными показателями;

3. Снижение количества осадков увеличивает шансы раннего пробуждения растений. Повышенная температура в феврале и марте не дает снежному покрову задерживаться на поверхности земли;

4. Отклик березовых древостоев продемонстрировал сильную зависимость фенологических фаз и явлений от изменения климатических показателей на примере температуры атмосферного воздуха. Изменения атмосферного воздуха могут оказывать негативные воздействия на лесные экосистемы региона;

5. Данная работа имеет теоретическое и практическое значение для понимания происходящих в природе процессов. Для повышения эффективности управления лесами, особенно при формировании ассортимента состава древесных насаждений, необходимо в дальнейшем изучать воздействие климата на биологические особенности древостоев. Смещение фенологических ритмов может рассматриваться в качестве биоиндикатора изменения климата на Земле.

*Благодарности.* За предоставленный массив данных по фенологическим наблюдениям авторы благодарят Воронежский биосферный заповедник им. В.М. Пескова и отдельно научного сотрудника Инну Игоревну Сапельникову.

За помощь в анализе климатических данных и вовлеченность в работу с аспирантом О.В. Серебряковым авторы благодарят ведущего научного сотрудника Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова Елену Марковну Акентьеву.

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

### **Библиографический список**

*Воскова А.В., Гордеева З.И., Минин А.А.* Изменение продолжительности вегетации у березы бородавчатой на Восточно-Европейской равнине за последние десятилетия // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2007. № 3. С. 59–61.

*Елагин И.П., Лобанов А.И.* Атлас-определитель фенологических фаз растений. М.: Наука, 1976. 96 с.

*Зайцев Г.Н.* Фенология древесных растений. М.: Наука, 1981. 120 с.

*Короткова О.Е.* Погодно-климатические, фенологические отклонения 2020 г. в Хоперском заповеднике в сравнении с многолетними данными 1939–2020 гг. // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. №28. С. 199–207.

*Кузнецов А.В.* Распускание листвы у фенологических форм дуба черешчатого в Теллермановской дубраве // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти профессора А.И. Золотухина. Саратов, 2015. С. 131–134.

Сапельникова И.И. Летопись природы: Растительность и ее изменения. Сезонное развитие растений Воронежского заповедника // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Российской Федерации (2015–2021 гг.). Симферополь, 2022. Вып. 5. С. 127–128.

Соловьев А.Н. Биота и климат. Региональная фенология. М.: Пасьева, 2005. 288 с.

Тишин Д.В., Чижикова Н.А. Фенология (методика наблюдений). Казань: Казанский федеральный университет, 2022. 36 с.

Фомин Э.С., Фомина Т.И. Фенологические реакции многолетних растений на изменение климата в Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2023. Т. 30, № 6. С. 760–772. DOI: 10.15372/SEJ20230603.

Шумик Н.И. Научные принципы создания биологически устойчивых зеленых насаждений в современном урбандошафте // Декоративное садоводство России: сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф. Сочи, 2008. С. 360–366.

Hájková L., Kožnarová V., Možný M., Bartošová L. Influence of climate change on flowering season of birch in the Czech Republic // International Journal of Biometeorology. 2020. Vol. 64. P. 791–801. DOI: 10.1007/s00484-020-01869-1.

Rojo J., Oteros J., Picornell A., Maya-Manzano J.M., Damialis A., Zink K., Werchan M., Werchan B., Smith M., Menzel A., Timpf S., Traidl-Hoffmann C., Bergmann K.-C., Schmidt-Weber C.B., Buters J. Effects of future climate change on birch abundance and their pollen load // Global change biology. 2021. Vol. 27. P. 5934–5949. DOI: 10.1111/gcb.15824.

## References

Elagin I.P., Lobanov A.I. Atlas-identifier of plant phenological phases. Moscow: Nauka, 1976. 96 p. (In Russ.)

Fomin E.S., Fomina T.I. Phenological Responses of Perennial Plants to Climate Change in Western Siberia. *Siberian Environmental Journal*, 2023, vol. 30, no. 6, pp. 760–772. DOI: 10.15372/SEJ20230603. (In Russ.)

Hájková L., Kožnarová V., Možný M., Bartošová L. Influence of climate change on flowering season of birch in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, 2020, vol. 64, pp. 791–801. DOI: 10.1007/s00484-020-01869-1.

Korotkova O.E. Weather-climatic and phenological deviations of 2020 in Khopersky Reserve compared to long-term data from 1939–2020. *Proceedings of the Morovsky State Nature Reserve named after P.G. Smidovich*, 2021, no. 28, pp. 199–207. (In Russ.)

Kuznetsov A.V. Leaf unfolding in phenological forms of pedunculate oak in Tellermano oak grove. *Biodiversity and anthropogenic transformation of natural ecosystems: mat. of All-Russ. sci.-pract. conf. dedic. to memory of professor A.I. Zolotukhin*. Saratov, 2015, pp. 131–134. (In Russ.)

Rojo J., Oteros J., Picornell A., Maya-Manzano J.M., Damialis A., Zink K., Werchan M., Werchan B., Smith M., Menzel A., Timpf S., Traidl-Hoffmann C., Bergmann K.-C., Schmidt-Weber C.B., Buters J. Effects of future climate change on

birch abundance and their pollen load. *Global change biology*, 2021, vol. 27, pp. 5934–5949. DOI: 10.1111/gcb.15824.

*Sapelnikova I.I.* Natural Chronicle: Vegetation and its Changes. Seasonal Development of Plants at Voronezh Reserve. *Scientific Research in Reserves and National Parks of Russia (2015–2021)*. Simferopol, 2022, iss. 5, pp. 127–128. (In Russ.)

*Solovyov A.N.* Biota and Climate. Regional Phenology. Moscow: Pasva, 2005. 288 p. (In Russ.)

*Shumik N.I.* Scientific principles for creating biologically sustainable green spaces in modern urban landscapes. *Decorative Gardening in Russia: collection of mat. of All-Russ. sci.-pract. conf. Sochi, 2008*, pp. 360–366. (In Russ.)

*Tishin D.V., Chizhikova N.A.* Phenology (Observation Methods). Kazan: Kazan Federal University, 2022. 36 p. (In Russ.)

*Voskova A.V., Gordeeva Z.I., Mini A.A.* Changes in the duration of vegetation in warty birch on the East European plain in recent decades. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Geography series*, 2007, no. 3, pp. 59–61. (In Russ.)

*Zaytsev, G. N.* Phenology of Woody Plants. Moscow: Nauka, 1981. 120 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 25.03.2025*

---

**Серебряков О.В., Прохорова Н.Л., Харченко Н.Н.** Отклик биоты на изменения климатических факторов на примере феноритмов березы (*Betula L.*), произрастающей в лесных массивах Воронежской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 203–216. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.203-216

Исследование раскрывает степень влияния климатических воздействий на древесный вид – березу пушистую, произрастающую в Воронежской области. Температура атмосферного воздуха может выступать определяющим индикатором воздействия на растительность. Цель работы – анализ тенденций смещения сроков наступления вегетативных фенологических явлений в сопоставлении с характером климатических изменений. Объектом исследования послужила лесная региональная система Воронежской области, а предметом – береза пушистая (*Betula pubescens*) и сопряжение ее фенологических ритмов с климатическими показателями. Температура атмосферного воздуха анализировалась ежемесячно, для анализа метеорологических данных использовалось усреднение данных по двум базовым климатическим периодам. За весь период исследований зафиксировано смещение дат начала и продолжительности фенологических фаз и явлений. В сравнении двух базовых климатических периодов (с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2020 гг.) происходит изменение температурного режима на территории региона. Зафиксировано наступление весенних фенологических фаз на несколько дней раньше обычного. Установлена прямая зависимость начала

сокодвижения, распускания листьев и зацветания от воздействия температуры воздуха. Отклик березовых насаждений продемонстрировал сильную взаимосвязь с температурой атмосферного воздуха. Подобные исследования полезны в подборе ассортимента лесовосстановления в реалиях изменения климата в черте региона. Смещение фенологических ритмов может рассматриваться в качестве биоиндикатора изменения климата на Земле.

**Ключевые слова:** лесная система, климат, фенология, сопряженность, береза, биота.

**Serebryakov O.V., Prokhorova N.L., Kharchenko N.N.** The response of biota to changes in climatic factors using the example of birch (*Betula L.*) phenorhythms growing in the forests of the Voronezh region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 203–216 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.203-216

The study reveals the degree of influence of climatic influences on the tree species, the fluffy birch, which grows in the Voronezh region. The temperature of the atmospheric air can act as a determining indicator of the impact on vegetation. The purpose of the work is to analyze trends in the timing of the onset of vegetative phenological phenomena in comparison with the nature of climatic changes. The object of the study was the forest regional system of the Voronezh region, and the subject was the downy birch (*Betula pubescens*) and the correlation of its phenological rhythms with climatic indicators. The temperature of the atmospheric air was analyzed on a monthly basis, and the meteorological data were averaged over two basic climatic periods. Over the entire research period, there has been a shift in the dates of the beginning and duration of phenological phases and phenomena. In comparison with two basic climate periods (from 1961 to 1990 and from 1991 to 2020), there has been a change in the temperature regime in the region. The onset of spring phenological phases has been observed several days earlier than usual. There has been a direct correlation between the onset of sap flow, leaf expansion, and flowering, and the influence of air temperature. The response of the birch plantations demonstrated a strong correlation with atmospheric air temperature. Such studies are useful in selecting the range of reforestation in the context of climate change in the region. The shift in phenological rhythms can be considered as a bioindicator of climate change on Earth.

**К e y w o r d s:** forest system, climate, phenology, conjugacy, birch, biota.

---

**СЕРЕБРЯКОВ Олег Владимирович** – аспирант кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: o-ser00@mail.ru

**SEREBRYAKOV Oleg V.** – PhD student, Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies. 394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: o-ser00@mail.ru

**ПРОХОРОВА Надежда Леонидовна** – старший преподаватель кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова. ORCID: 0000-0001-6558-7074. Scopus AuthorID: 57213353580.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: nadnov40@yandex.ru

**PROKHOROVA Nadezhda L.** – Senior Lecturer, Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies. ORCID: 0000-0001-6558-7074. Scopus AuthorID: 57213353580.

394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: nadnov40@yandex.ru

**ХАРЧЕНКО Николай Николаевич** – заведующий кафедрой экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, профессор, доктор биологических наук. ORCID: 0000-0001-7645-2642. SPIN-код: 4245-3294. WoS ResearcherID: AAP-1709-2020. Scopus AuthorID: 57195760323.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: forest.vrn@gmail.com

**KHARCHENKO Nikolay N.** – DSc (Biological), Head of the Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies, Professor. ORCID: 0000-0001-7645-2642. SPIN-code: 4245-3294. WoS ResearcherID: AAP-1709-2020. Scopus AuthorID: 57195760323.

394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: forest.vrn@gmail.com

**А.А. Смолякова, Е.А. Кукавская, Л.В. Буряк, С.В. Жила**

**ВКЛАД ПОДРОСТА В ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ  
ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ЭМИССИЮ УГЛЕРОДА  
ПРИ ПОЖАРАХ В МИНУСИНСКИХ ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ  
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

*Введение.* Леса занимают 4,06 миллиардов гектаров площади поверхности Земли [The State..., 2020], из которых 22% находятся на территории Российской Федерации<sup>1</sup>. Запасы органического углерода в фитомассе растений в мире оцениваются в 500–700 Гт, в то время как в 100-сантиметровом слое почвы этот показатель составляет 1500 Гт [Nieder, Benbi, 2008].

Леса не только аккумулируют углерод в фитомассе, но и вносят свой вклад в эмиссионные потоки углерода за счет дыхания, разложения органического вещества, а также при его сгорании в ходе лесных пожаров [Karsenty et al., 2003]. За период с 1997 по 2023 гг. средний вклад России в мировую эмиссию углерода при природных пожарах оценивается в 6–11% (130–275 Мт С), а при учете лишь лесных пожаров – 3,5–7,5% [Матвеев, Барталев, 2024].

За последние 50 лет средние темпы глобального потепления в мире ( $0,13 \pm 0,03$  °С за десятилетие) оказались более чем в два раза выше, чем предполагалось ранее, при этом на территории юга Красноярского края в лесостепной и степной зоне потеплело на 4,7 °С за столетний период (1916–2016 гг.) [Иванова, 2022]. Климатические модели прогнозируют, что глобальное потепление повлияет на увеличение горимости и длительности пожароопасного сезона [Senande-Rivera et al., 2022]. Увеличение интенсивности горения и доли верховых пожаров в лесных экосистемах России приведет к еще большему росту эмиссии углерода [Швиденко, Щепашенко, 2013].

Изменение климата [Zhirnova et al., 2021] и высокая плотность населения на юге Сибири [Коломак, Шерубнева, 2023] обуславливают высокую степень горимости [Маленко и др., 2015] и рост количества и интенсивности пожаров [Буряк и др., 2007; Пономарев, Харук, 2016; Jones et al., 2022].

---

<sup>1</sup> Сведения о фактических значениях показателей государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 318, за 2023 г. и план на 2024 г.

Для южных районов Сибири характерен максимум горимости в весенний период с периодичностью пожаров 8–20 лет [Каленская и др., 2010; Маленко и др., 2015; Иванова и др., 2022].

Ленточные боры – сосновые насаждения, находящиеся за пределами своего ареала и вклинивающиеся в зону сухих степей [Полякова и др., 2008]. В сухих лесорастительных условиях естественное возобновление часто протекает недостаточно эффективно или же вовсе отсутствует [Савин и др., 2018]. Это обусловлено жёсткими климатическими условиями, недостаточным количеством осадков в ленточных борах и их высокой горимостью [Панин и др., 2023], в связи с чем искусственное лесовосстановление на данной территории является неотъемлемой частью лесохозяйственной деятельности. Так, около 12,7% площади ленточных боров Алтайского края приходится на искусственные насаждения и лесные культуры сосны обыкновенной [Осипенко, 2020]. На юге Красноярского края в Минусинском лесничестве под искусственное лесовосстановление отведены 64% всех земель, нуждающихся в лесовосстановлении<sup>2</sup>.

Запас лесных горючих материалов (ЛГМ) предопределяет возможность возникновения и особенности распространения пожаров [Курбатский, 1970]. Несмотря на то, что для разных типов леса Сибири определены запасы горючих материалов [Матвеева, 2008; Собачкин и др., 2017; Савин и др., 2018; Иванова, Иванов, 2020], работы по вкладу подроста в комплексы ЛГМ немногочисленны. Между тем исследования, проведенные в некоторых районах Сибири, показали значительную роль подроста в формировании структуры и запасов ЛГМ [Фураев и др., 2010b; Софронов, Волокитина, 2011]. Так, доля подроста в ленточных борах Алтая в среднем составила 75% от общего количества напочвенных ЛГМ (включая травы, опад, подстилку и мхи) в насаждениях сухого бора, а в травяном бору – 87% [Фураев и др., 2010a].

Целью работы являлось определение роли подроста сосны обыкновенной в формировании комплекса лесных горючих материалов и оценка его вклада в пирогенную эмиссию углерода в Минусинских ленточных борах Красноярского края.

*Материалы и методика исследования.* Исследования проводили в Минусинских ленточных борах, расположенных в Минусинском лесничестве на юге Красноярского края. В период с 2013 по 2023 гг. средняя годо-

---

<sup>2</sup> Приказ Министерства лесного хозяйства Красноярского края № 86–1722-од от 30.09.2019 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Минусинского лесничества».

вая температура в районе исследования составила  $+2,8$  °С, при этом минимальные и максимальные значения варьировали от  $-42,7$  °С до  $+37,4$  °С. Среднее годовое количество осадков составило 353,8 мм, а средняя высота снежного покрова – 6,4 см (максимальная высота не превышала 29 см)<sup>3</sup>.

На территории лесничества 3% общей площади занято гарями и прогалинами, а средний класс природной пожарной опасности равен 1,1, что свидетельствует о высокой вероятности возникновения и распространения пожаров в течение всего пожароопасного сезона. Длительность пожароопасного сезона на территории составляет 199 дней<sup>4</sup>.

В 2022 г. в Минусинских ленточных борах были заложены две пробные площади (ПП), пройденные пожарами весной текущего года. Первая пробная площадь (ПП1) представлена лесными культурами сосны обыкновенной, высаженными на гари 2007 г. Вторая пробная площадь (ПП2) представляет собой сосновое насаждение, сформировавшееся на пожарище 2007 г., где погибшая в результате пожара часть древостоя была вырублена, а выжившая – оставлена. В настоящее время пройденное пожаром насаждение представлено низкополнотным приспевающим сосновым древостоем со сформированным естественным образом подростом. Оба участка были пройдены огнем 2 апреля 2022 г. Насаждение на ПП1 пройдено верховым высокоинтенсивным пожаром, а на ПП2 – низовым беглым пожаром средней интенсивности, местами переходившим в верховой пожар. Для каждой ПП были подобраны не горевшие в 2022 г. контрольные насаждения, которые находились в непосредственной близости от ПП и имели одинаковые с ними лесорастительные условия и лесоводственно-таксационные показатели. Почвы на участках – свежие дерново-подзолистые.

Для определения таксационных показателей подроста на каждой ПП закладывали по 12 учетных площадок размером 2x2 м, на которых проводили сплошной пересчет молодых деревьев с измерением высот и диаметров. Насаждение на первой ПП представлено чистым сосновым 15-летним молодняком со средним диаметром  $2,9 \pm 0,20$  см, средней высотой  $3,9 \pm 0,13$  м и густотой 21,5 тыс. шт./га (табл. 1). Высокая густота подроста обусловлена наличием на ПП естественного возобновления в дополнение к посаженным лесным культурам.

---

<sup>3</sup> Архив погоды в Минусинске. URL: <https://tp5.ru> (дата обращения: 01.02.2025)

<sup>4</sup> Приказ Министерства лесного хозяйства Красноярского края № 86–1722-од от 30.09.2019 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Минусинского лесничества».

Таблица 1

**Характеристика подроста на пробных площадях  
(среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка)**

**Characteristics of the tree regeneration on the sample plots  
(mean  $\pm$  standard error)**

Показатель	Пробная площадь	
	1	2
происхождение	комбинированное	естественное
густота, тыс. шт./га	21,5	16,3
$D_{cp}$ , см	2,9 $\pm$ 0,20	1,7 $\pm$ 0,20
$H_{cp}$ , м	3,9 $\pm$ 0,13	2,4 $\pm$ 0,14

На второй ПП сосновый подрост располагается под пологом низкополнотного (полнота – 0,4) соснового древостоя (10С). Средний диаметр древостоя на высоте груди составил 26,6 $\pm$ 1,5 см, средняя высота – 21,4 $\pm$ 0,4 м, возраст – 100 лет. Средний диаметр подроста составил 1,7 $\pm$ 0,20 см, средняя высота – 2,4 $\pm$ 0,14 м, возраст – 14 лет, густота – 16,3 тыс. шт./га (табл. 1). Количество подроста на обеих пробных площадях является достаточным для успешного лесовосстановления<sup>5</sup>.

Для определения надземной фитомассы подроста было срублено 13 деревьев сосны обыкновенной высотой от 0,5 до 5,5 м. У каждого экземпляра измеряли высоту, диаметр, длину и ширину кроны. Для каждого дерева определяли массу по фракциям: ствол, ветви и хвоя. Ветки разделяли на две категории (живые и сухие), а также распределяли по размерным классам (I – 0–0,49 см; II – 0,50–0,99 см; III – 1,0–2,99 см). Веток более 3 см не было. Для определения сухой массы брали по 3 образца каждой фракции, влагосодержание которых устанавливали в лабораторных условиях. На основе данных модельных деревьев были построены аллометрические уравнения связи высоты подроста и запасов отдельных его фракций.

Для определения запасов напочвенных ЛГМ на каждой ПП закладывали по 15 площадок размером 33х33 см, на которых отдельно собирали травы и кустарнички, опад, мох и подстилку, при этом старались охватить все многообразие растительного покрова [Курбатский, 1970]. Образцы напочвенных ЛГМ сушили в лабораторных условиях до абсолютно сухого состо-

<sup>5</sup> Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 1014 от 04.12.2020 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений».

яния. Учет запаса древесных остатков, представленных ветвями и валежом разной степени деструкции, проводился методом пересеченных линий на 12 пятиметровых трансектах [Van Wagner, 1968; McRae et al., 2006].

Количество сгорающего напочвенного покрова, а также древесных остатков рассчитывали как разницу запасов на контрольных и пройденных пожаром участках. Для определения сгоревшего запаса фитомассы подроста на 12 учетных площадках размером 2х2 м глазомерно определяли долю сгоревших фракций подроста (хвоя и веточки по размерным классам). Содержание углерода в различных образцах надземного органического вещества определяли в 3–5 повторностях с использованием изотопного масс-спектрометра Isoprime 100 (Isoprime, Великобритания) и элементарного анализатора Vario Isotope Cube (Elementar, Германия).

*Результаты исследования и обсуждение.*

*Запасы фитомассы подроста.* Основные морфологические показатели модельных деревьев и вклад отдельных фракций в общую фитомассу каждого дерева приведены в табл. 2. На основе данных модельных деревьев выявлено, что длина кроны деревьев близких размеров на ПП2 на 25–56%, а ширина кроны на 25–47% превышает аналогичные показатели подроста, отобранного на ПП1 (табл. 2). Установлено, что у модельных деревьев, произрастающих на ПП1, большую часть их фитомассы составляет ствол – 50–83%. На ПП2 у деревьев высотой до 1,3 м основная доля запаса приходилась на хвою и веточки (60–86% от общего запаса), а у деревьев высотой более 1,3 м – на ствол (48–63%).

Таблица 2

**Характеристика модельных деревьев и вклад отдельных фракций деревьев в общую фитомассу**

**Characteristics of model trees and the contribution of individual tree fractions to total phytomass**

Показатель		ПП1					ПП2							
H, м		1,2	1,9	2,5	3,3	4,3	5,5	0,6	1,0	1,3	2,4	3,0	3,9	5,3
D <sub>1,3</sub> , см		–	0,7	1,3	2,0	3,0	5,0	–	–	–	1,9	2,1	3,9	5,0
длина кроны, м		0,44	0,67	1,61	1,80	1,88	3,00	0,35	0,52	1,01	1,50	2,38	3,10	4,30
ширина кроны, м		0,30	0,34	0,65	0,75	0,90	0,95	0,25	0,50	0,39	1,10	1,20	1,50	1,80
фитомасса	всего, г	53	109	344	425	885	3344	16	69	230	572	795	1866	5193
	хвоя	15	8	16	19	11	5	47	18	31	23	20	27	23
	живые ветви	11	9	24	9	11	9	10	35	51	26	18	11	12
	сухие ветви	3	9	10	10	5	3	3	16	4	3	3	1	1
	ствол	71	74	50	62	73	83	40	31	14	48	59	61	64

Наши результаты согласуются с данными по фитомассе модельных деревьев, полученными для 20-летних деревьев сосны обыкновенной естественного происхождения, произрастающих в Канской лесостепи (средний диаметр – 2,8 см, высота – 4,6 м), и 16-летних деревьев сосны, произрастающих в южной тайге Красноярского края (средний диаметр – 3 см) [Усольцев, 2016] и существенно (на 40-190%) отличаются от данных, полученных по модели В.А. Усольцева для сосны обыкновенной, произрастающей на Урале [Усольцев и др., 2023].

Доля хвои у модельных деревьев на обеих ПП варьируется от 5% до 47% от их общей фитомассы, а веточек – от 12% до 54% (табл. 2). Доля запаса хвои у подростка на ПП1 достигает своего максимального значения (19%) при высоте дерева 3,3 м, в дальнейшем по мере роста деревьев (4–6 м) снижается до 5%. Доля хвои у молодого поколения на ПП2 достигает максимума при 1,3 м высоты, где она составляет 31%, затем по мере роста дерева снижается до 20–27%. Доля живых веточек I и II классов у подростка на ПП1 достигла своего максимума при высоте 2,5 м (24%), у более высоких деревьев она уменьшается до 9–11%. У молодого поколения на ПП2 максимальная доля живых веточек составила 50% при достижении ими высоты 1,3 м, после чего по мере роста деревьев она уменьшилась до 26–18% при высоте 2–3 м и 12–11% при высоте 4–5 м.

На основании данных модельных деревьев были построены зависимости фитомассы отдельных фракций подростка от его высоты (рис. 1). Запас хвои у молодого поколения на ПП2 в 2–9 раз, а веточек в 3–4 раза больше, чем у подростка на ПП1, что связано с меньшей загущенностью молодняка в низкоплотном насаждении и, следовательно, более развитой кроной молодых деревьев.

На основе полученных данных по фитомассе модельных деревьев и распределению деревьев по группам высот была рассчитана фитомасса подростка на экспериментальных участках. Общий запас фитомассы подростка составил 29,58 т/га и 23,77 т/га на ПП1 и ПП2 соответственно (рис. 2). Несмотря на то, что фитомасса модельных деревьев на ПП2 превышает таковую на ПП1 (рис. 1), общий запас фитомассы подростка на ПП1 на 20% больше, по сравнению с запасом молодого поколения на ПП2 (рис. 2), что связано с его меньшим количеством на данной пробной площади (табл. 1). Запас стволов и веточек молодых деревьев на ПП1 на 31% и 25% больше, чем у подростка на ПП2, причем сухих веточек у молодого поколения на ПП1 на 77% больше, чем у молодняка на ПП2. Фитомасса хвои у подростка на ПП2 на 46% больше, чем у молодого поколения на

ПП1, что связано с более развитой кроной молодых деревьев (табл. 2). Запасы хвои модельных деревьев на ПП2 в 2 раза превышают таковые, полученные для подроста сосны со схожими таксационными показателями в Красноярском Приангарье, при этом данные показатели у подроста на ПП1 оказались схожи [Софронов, Волокитина, 2011]. Общая фитомасса соснового подроста 18-летнего возраста, произрастающего в Канской лесостепи Красноярского края, оказалась близка с полученными нами данными, при этом наблюдалось аналогичное распределение массы подроста по отдельным фракциям [Усольцев, 2011].

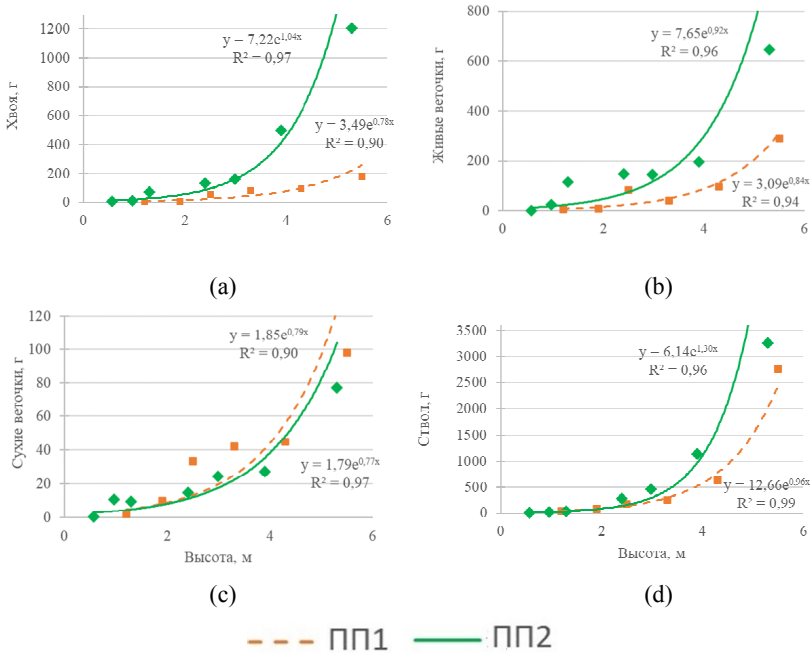


Рис. 1. Зависимость фитомассы отдельных фракций модельных деревьев от их высоты: (а) хвоя, (б) живые веточки, (с) сухие веточки, (д) ствол

Fig. 1. Dependence of phytomass of individual fractions of model trees on their height: (a) needles, (b) live branches, (c) dry branches, (d) stem

**Запасы напочвенного покрова.** Запасы напочвенных горючих материалов на исследуемых пробных площадях практически не различаются – 8,71 т/га и 8,69 т/га на ПП1 и ПП2 соответственно (рис. 2). Однако запас древесных остатков на ПП2 на 36% больше, чем на ПП1, что связано с отпа-

дом ветвей оставшейся части древостоя на ПП2, а также с очисткой ПП1 от порубочных остатков при подготовке участка к посадке лесных культур в 2007 г. По сравнению с запасами напочвенных ЛГМ в средневозрастных сосняках лесостепной зоны Красноярского края [Собачкин, Ковалева, 2024], запасы на исследуемых нами площадях были в 3,2 раза меньше. На территории бывших сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь запасы напочвенных ЛГМ в 15-летних сосняках варьировали от 2,1 т/га до 5,9 т/га в зависимости от типов леса [Усеня, 1997], что на 24–68% меньше, чем на наших пробных площадях. Запасы напочвенных ЛГМ на исследуемых нами ПП в 6–7 раз меньше, чем в среднетаежных сосняках, и в 4–6 раз меньше, чем в южнотаежных сосняках Средней Сибири [Ivanova et al., 2020].

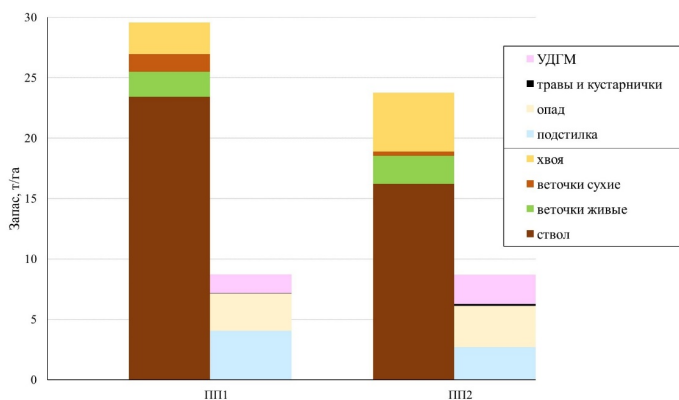


Рис. 2. Запасы подроста и напочвенного покрова на пробных площадях  
 Fig. 2. Tree regeneration and ground cover loads in sample plots

Доля запаса подстилки составила 46% (4,05 т/га) и 31% (2,70 т/га) от общего запаса напочвенных горючих материалов на ПП1 и ПП2 соответственно. Доля трав и кустарничков на обеих ПП не превышала 2%, что обусловлено проведением исследований ранней весной (апрель), до наступления их активной вегетации. На долю запаса опада приходится 35% (3,08 т/га) и 39% (3,40 т/га) от общего запаса напочвенных ЛГМ на ПП1 и ПП2 соответственно. Полученные нами запасы опада в 1,1–3,4 раза больше запасов в спелых среднетаежных сосняках и в 1,6–3,1 раз больше, чем в южнотаежных сосняках Красноярского края [Ivanova et al. 2020], что обусловлено более высокой продуктивностью ленточных боров [Залесов и др.,

2023], расположенных в более благоприятных климатических условиях. Так, запас опада на исследуемых ПП был на 67–84% больше, чем на бывших сельскохозяйственных угодьях Емельяновского лесничества Красноярского края [Морозов и др., 2020].

*Сгораемые горючие материалы и эмиссия углерода.* Общий запас сгоревших горючих материалов на пробных площадях составил 11,87 т/га и 13,79 т/га (табл. 3), что составляет 31% и 42% от допожарного запаса на ПП1 и ПП2 соответственно. Вклад подроста в количество сгораемых ЛГМ составил 27% на ПП1 и 42% на ПП2. Несмотря на то, что фитомасса подроста до пожара на ПП1 больше, чем на ПП2 (рис. 2), сгоревший запас подроста на ПП2 на 43% превышает таковой на ПП1. Это связано с тем, что изначальные запасы хвои и мелких веточек (I и II классы) на ПП2 имеют большие значения по сравнению с ПП1 (7,53 против 6,15 т/га). Кроме того, веточки I класса сгорели на 45% и 58% от допожарного запаса, а II класса – на 8% и 17% на ПП1 и ПП2 соответственно (табл. 3). Хвоя на обеих ПП сгорела полностью.

На напочвенные ЛГМ приходится 58–73% общего сгоревшего запаса (табл. 3). Полностью сгорели травы и кустарнички, опад и подстилка на обеих ПП. Древесные остатки на поверхности почвы сгорели на 94% от допожарного запаса на ПП1 и на 73% на ПП2.

Таблица 3

**Количество сгоревших ЛГМ**

**Amount of forest fuel burned**

ПП	Кроновые ЛГМ			Напочвенные ЛГМ					Итого
	всего	веточки	хвоя	всего	опад	травы и кустарнички	подстилка	древесные остатки	
1	<u>3,26</u> 11	<u>0,65</u> 18	<u>2,61</u> 100	<u>8,61</u> 99	<u>3,08</u> 100	<u>0,04</u> 100	<u>4,05</u> 100	<u>1,44</u> 94	<u>11,87</u> 27
2	<u>5,74</u> 24	<u>0,86</u> 32	<u>4,88</u> 100	<u>8,05</u> 93	<u>3,40</u> 100	<u>0,18</u> 100	<u>2,70</u> 100	<u>1,77</u> 73	<u>13,79</u> 42

*Примечание:* в числителе – запас т/га, в знаменателе –% от допожарного запаса

Содержание углерода в различных образцах варьировалось от 38% до 48% в зависимости от вида горючих материалов (табл. 4). Минимальные значения наблюдали в подстилке (38,2%) и травах (43,3%). Максимальное содержание углерода выявлено у веточек (47,9%).

Таблица 4

**Содержание углерода в различных образцах  
(среднее значение ± стандартная ошибка)**

**Carbon content in various samples (mean ± standard error)**

Фракция	Содержание углерода, %
веточки	47,90±0,9
хвоя	45,20±0,2
опад	46,25±0,7
травы	43,30±0,7
подстилка	38,24±0,2

Величина эмиссии углерода, рассчитанная на основе данных по сгоревшему запасу (табл. 3) в зависимости от содержания углерода в различных компонентах ЛГМ (табл. 4), составила 5,17 тС/га на ПП1 и 6,15 тС/га на ПП2 (рис. 3). На подстилку приходится 17–30% общей эмиссии углерода, опад – 26–28%, ветви и валеж на поверхности почвы – 13–14%. Вклад подроста в эмиссию углерода составил 29% и 43% на ПП1 и ПП2 соответственно, из них большая часть пришлась на сгоревшую хвою (1,18 тС/га и 2,21 тС/га).

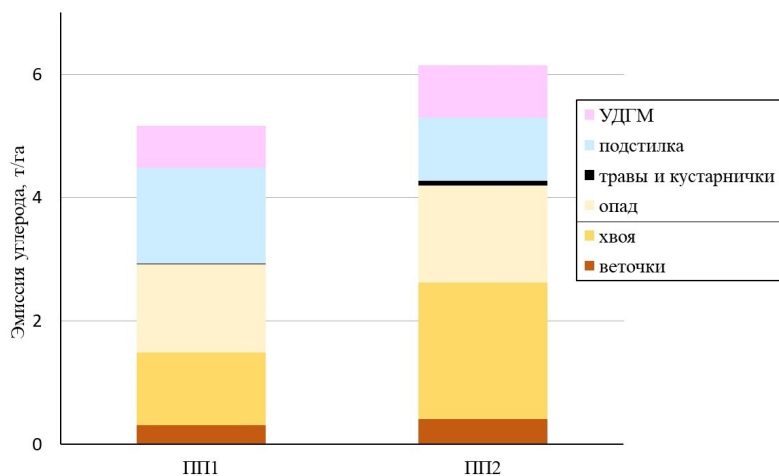


Рис. 3. Вклад компонентов насаждений в эмиссию углерода при пожарах  
Fig. 3. Contribution of vegetation components to carbon emissions during fires

Полученные нами значения эмиссии углерода при пожарах в 1,6–2 раза ниже, чем оценка пирогенной эмиссии на территории национального парка «Шушенский бор» [Кукавская и др., 2019], который находится на юге Красноярского края в относительной близости от места исследования. Это связано с тем, что Шушенские ленточные боры расположены в более благоприятных климатических условиях, обуславливающих более высокую продуктивность насаждений, а также с тем, что эффективная организация охраны лесов от пожаров на территории национального парка послужила причиной накопления значительных запасов горючих материалов вследствие более длительного межпожарного интервала, в то время как исследуемые ПП были пройдены пожарами в 2007 г. и высокий запас ЛГМ на них еще не успел сформироваться.

В целом запасы ЛГМ в ленточных борах юга Сибири относительно малы, что обуславливает низкие показатели эмиссии углерода даже при высокой горимости. Так, в сосняках южной тайги Нижнего Приангарья эмиссия углерода при низовых пожарах составила 8,9–11,2 т/га [Ivanova et al., 2011], что в 1,5–2,2 раза больше, чем на наших ПП. В средней тайге эмиссия углерода при средне- и высокоинтенсивных низовых пожарах в сосновых насаждениях в 1,1–3 раза превышает полученные нами значения [Иванова, Иванов, 2015].

*Заключение.* По результатам проведенных исследований установлено, что Минусинские ленточные боры отличаются невысокими запасами лесных горючих материалов, включая напочвенные горючие материалы и подрост, что представляет собой практически все группы лесных горючих материалов в данных лесорастительных условиях, за исключением крон деревьев и слабо развитого подлеска. Общий запас подроста и напочвенного покрова в сосновых молодняках юга Красноярского края, сформированных на пройденной пожаром площади, составил 32,5–38,3 т/га. Наибольший вклад в формирование комплексов ЛГМ внес подрост, на долю которого пришлось 73–77% от общего запаса. Густота подроста в значительной степени определяет его фитомассу и распределение по отдельным фракциям. Запас напочвенных горючих материалов составил 8,7 т/га, при этом на подстилку приходится 39–47%.

Количество сгоревших горючих материалов варьировалось от 11,9 до 13,8 т/га (31–42% от допожарного запаса), при этом вклад подроста составил 27–42%. Большая часть сгоревшей массы кроновых ЛГМ (22–35%) пришлась на хвою. Масса сгоревших напочвенных ЛГМ составила 8,1–8,6 т/га. Эмиссия углерода при пожарах варьировала от 5,2 до 6,2 т/га, при этом 56–71% приходилось на напочвенный покров.

Несмотря на то, что для юга Сибири характерны быстрое пожарное созревание участков лесных земель и их высокая горимость, пирогенные

эмиссии углерода с единицы площади на данной территории невысоки по сравнению с последствиями пожаров в высоких широтах, что обусловлено низкими запасами горючих материалов на территориях, часто подвергающихся воздействию огня.

*Сведения о финансировании исследования.* Работа выполнена при поддержке проекта государственного задания № FWES–2024–0040. Работа Буряк Л.В. была поддержана темой государственного задания № 1-О25 горючие материалы (Приказ Рослесхоза от 25.06.2025 № 421).

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

### **Библиографический список**

*Буряк Л.В., Каленская О.П., Пономарев Е.И., Сухинин А.И.* Пожары и их последствия в ленточных борах юга Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 4–5. С. 398–404.

*Залесов С.В. Осипенко А.Е., Толстиков А.Ю., Усов М.В., Гоф А.А., Савин В.В.* Воспроизводство и омоложение ленточных боров Алтайского края: монография. Екатеринбург: УГЛТУ, 2023. 357 с.

*Иванова Г.А., Иванов А.В.* Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.

*Иванова Г.А., Иванов В.А.* Зональность лесных горючих материалов и их пирогенная трансформация в сосняках средней Сибири // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 4. С. 9–26. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26.

*Иванова Г.А., Кукавская Е.А., Безкровная И.Н., Богородская А.В., Жила С.В., Иванов В.А., Ковалева Н.М., Краснощекова Е.Н., Тарасов П.А.* Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.

*Иванова О.И.* Анализ изменения климата лесостепной и степной зоны Красноярского края // Современные проблемы землеустройства, кадастров, природообустройства и повышения безопасности труда в АПК: мат. IV нац. науч. конф. Красноярск, 2022. С. 51–54.

*Каленская О.П., Буряк Л.В., Толмачева А.В.* Влияние низовых пожаров на состояние сосновых насаждений в равнинной части национального парка «Шушенский бор». Красноярск: СибГТУ, 2010. 132 с.

*Коломак Е.А., Шерубнева А.И.* Оценка значимости агломерационных эффектов на юге Сибири // Пространственная экономика. 2023. Т. 19, № 1. С. 52–69. DOI: 10.14530/se.2023.1.052–069.

*Кукавская Е.А., Буряк Л.В., Каленская О.П., Толмачёв А.В., Жила С.В., Барбанцева А.Е.* Оценка пирогенной эмиссии углерода на территории национального парка «Шушенский бор» // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 37–44. DOI: 10.21782/GIPR0206–1619–2019–1(37–44).

*Курбатский Н.П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск, 1970. С. 5–58.

Маленко А.А., Малиновских А.А., Чичкарев А.С. Динамика горимости лесов юга Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 6. С. 68–72.

Матвеев А.М., Барталев С.А. Сравнительный анализ оценок эмиссии углерода от природных пожаров на территории России на основании глобальных продуктов ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 4. С. 141–161. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-141-161.

Матвеева Т.А. Запасы лесных горючих материалов в горных лесах южной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008. № 12. С. 30–33.

Морозов А.С., Иванова Г.А., Бакиеева Е.О., Иванов В.А. Пожароопасность сосновых молодняков на неиспользуемых сельскохозяйственных землях // Сибирский лесной журнал. 2020. № 3. С. 26–36.

Осипенко А.Е. Рост и развитие искусственных и естественных сосновых древостоев в Алтае-Новосибирском районе лесостепей и ленточных боров: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2020. 20 с.

Панин И.А., Секерин И.М., Усов М.В., Осипенко А.Е. Специфика тушения лесных пожаров // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11(113). Ч. 1. С. 166–170.

Полякова М.А., Дитц Л.Ю., Ермаков Н.Б. Исследование экологических особенностей ленточных боров Минусинской межгорной котловины методами градиентного анализа // Экология. 2008. № 4. С. 253–260. DOI: 10.1134/S1067413608040024.

Пономарев Е.И., Харук В.И. Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата // Сибирский экологический журнал. 2016. № 1. С. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104.

Савин М.А., Маленко А.А., Пономарев С.В., Дергунов Р.В. Оценка запаса напочвенных лесных горючих материалов в сосновом молодняке в засушливой степи // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. мат. XIII межд. науч.–практ. конф. Барнаул, 2018. Т. 1. С. 402–403.

Собачкин Р.С., Ковалева Н.М. Влияние периодичности низовых пожаров на запас лесных горючих материалов средневозрастных сосняков в лесостепи Красноярского края // Лесоведение. 2024. № 2. С. 75–84.

Собачкин Р.С., Ковалева Н.М., Петренко А.Е., Собачкин Д.С. Структура горючих материалов в сосняках разного возраста Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2017. № 6. С. 431–436.

Софронов М.А., Волокитина А.В. Запас хвой подростка как горючего материала в лесах Красноярского Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, № 1–2. С. 60–63.

Усея В.В. Исследование запасов лесных горючих материалов различных групп в сосновых насаждениях // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. 1997. № 45. С. 124–127.

*Усольцев В.А.* Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 575 с.

*Усольцев В.А.* Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: Урал. гос. ун–т, 2016. 336 с.

*Усольцев В.А., Цепордей И.С., Уразова А.Ф., Борников А.В.* Биомасса подроста лесообразующих видов Урала и ее аллометрические модели // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3. С. 51–64. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.006.

*Фуряев В.В., Черных В.А., Злобина Л.П.* Роль подроста в формировании комплекса лесных горючих материалов и снижении пожароустойчивости ленточных боров Алтая // Лесоведение. 2010. № 3. С. 15–20.

*Фуряев И.В., Самсоненко С.Д., Фуряев В.В.* Роль подроста в формировании комплексов лесных горючих материалов в насаждениях Верхне-Обского лесного массива // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27, № 3–4. С. 257–262.

*Швиденко А.З., Щенащенко Д.Г.* Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.

*Ivanova G.A., Conard S.G., Kukavskaya E.A., McRae D.J.* Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia // Environmental Research Letters. 2011. Vol. 6, № 4. Art. no. 045203. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045203.

*Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A., Conard S.G., McRae D.J.* Fuel characteristics, loads and consumption in Scots pine forests of central Siberia // Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31. P. 2507–2524. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118075.

*Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Bets R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santin C., Kolden C., Doerr S.H., Le Quéré C.* Global and regional trends and drivers of fire under climate change // Reviews of Geophysics. 2022. Vol. 60, iss. 3. Art. no. e2020RG000726. DOI: 10.1029/2020RG000726.

*Karsenty A., Blanco C., Dufour T.* Forest and climate change. Instruments related to the United Nations Framework Convention on Climate Change and their potential for sustainable forest management in Africa. Rome: FAO, 2003. 82 p.

*McRae D.J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Churkina T.V., Hao W.M., Koutzenogij K.P., Kovaleva N.M.* Variability of fire behavior, fire effects, and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. Vol. 11, № 1. P. 45–74. DOI: 10.1007/s11027-006-1008-4.

*Nieder R., Benbi D.K.* Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment. Springer Dordrecht, 2008. 430 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-8433-1.

*Senande-Rivera M., Insua-Costa D., Miguez-Macho G.* Spatial and temporal expansion of global wildland fire activity in response to climate change // Nature communications. 2022. № 13. Art. no. 1208. DOI: 10.1038/s41467-022-28835-2.

The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome: FAO and UNEP, 2020. 214 p. DOI: 10.4060/ca8642en.

Van Wagner C.E. The line intersect method in forest fuel sampling // *Forest Science*. 1968. Vol. 14, № 1. P. 20–26. DOI: 10.1093/forestscience/14.1.20.

Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Meko D.M., Babushkina E.A., Vaganov E.A. Climate change and tree growth in the Khakass- Minusinsk Depression (South Siberia) impacted by large water reservoirs // *Scientific Reports*. 2021. № 11. Art. no. 14266. DOI: 10.1038/s41598-021-93745-0.

## References

Buryak L.V., Kalenskaya O.P., Ponomarev E.I., Sukhinina A.I. Fires and their consequences in the ribbon forests of southern Siberia. *Coniferous Boreal Zone*, 2007, vol. 24(4–5), pp. 398–404. (In Russ.)

Furyaev I.V., Samsonenko S.D., Furyaev V.V. The role of tree regeneration in the formation of complexes of forest combustible materials in the plantations of the Upper Ob forest massif. *Coniferous Boreal Zone*, 2010, vol. 27, no. 3–4, pp. 257–262. (In Russ.)

Furyaev V.V., Chernykh V.A., Zlobina L.P. The role of tree regeneration in the formation of a complex of forest combustible materials and reducing the fire resistance of the Altai ribbon forests. *Russian Journal of Forest Science*, 2010, no. 3, pp. 15–20. (In Russ.)

Ivanova G.A., Ivanov A.V. Fires in pine forests of Central Siberia. Novosibirsk: Nauka, 2015. 240 p. (In Russ.)

Ivanova G.A., Ivanov V.A. Zonality of forest combustible materials and their pyrogenic transformation in pine forests of Central Siberia. *Russian Forestry Journal*, 2020, no. 4, pp. 9–26. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-9-26. (In Russ.)

Ivanova G.A., Conard S.G., Kukavskaya E.A., McRae D.J. Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia. *En-vironmental Research Letters*, 2011, vol. 6, no. 4, art. no. 045203. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045203.

Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Ivanov V.A., Conard S.G., McRae D.J. Fuel characteristics, loads and consumption in Scots pine forests of central Siberia. *Journal of Forestry Research*, 2020, vol. 31, pp. 2507–2524. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118075.

Ivanova G.A., Kukavskaya E.A., Bezkrornaya I.N., Bogorodskaya A.V., Zhila S.V., Ivanov V.A., Kovaleva N.M., Krasnoshchekova E.N., Tarasov P.A. Impact of fires on light coniferous forests of the Lower Angara region. Novosibirsk: Nauka, 2022. 204 p. (In Russ.)

Ivanova O.I. Analysis of climate change in the forest-steppe and steppe zones of the Krasnoyarsk Territory. *Modern problems of land management, cadasters, environmental management and improving safety at work in the agro-industrial complex: mat. of the IV nat. sci. conf.* Krasnoyarsk, 2022, pp. 51–54. (In Russ.)

Jones M.W., Abatzoglou J.T., Veraverbeke S., Andela N., Lasslop G., Forkel M., Smith A.J.P., Burton C., Betts R.A., van der Werf G.R., Sitch S., Canadell J.G., Santin C.,

Kolden C., Doerr S.H., Le Quéré C. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*, 2022, vol. 60, iss. 3, art. no. e2020RG000726. DOI: 10.1029/2020RG000726.

Kalenskaya O.P., Buryak L.V., Tolmacheva A.V. Influence of ground fires on the state of pine plantations in the plain part of the Shushensky Bor National Park. Krasnoyarsk: SibSTU, 2010. 132 p. (In Russ.)

Karsenty A., Blanco C., Dufour T. Forest and climate change. Instruments related to the United Nations Framework Convention on Climate Change and their potential for sustainable forest management in Africa. Rome: FAO, 2003. 82 p.

Kolomak E.A., Sherubneva A.I. Assessing the Significance of Agglomeration Effects in Southern Siberia. *Spatial Economics*, 2023, vol. 19(1), pp. 52–69. DOI: 10.14530/se.2023.1.052–069. (In Russ.)

Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Kalenskaya O.P., Tolmachev A.V., Zhila S.V., Barabantseva A.E. Assessment of pyrogenic carbon emissions in the territory of the Shushensky Bor National Park. *Geography and Natural Resources*, 2019, no. 1, pp. 37–44. DOI: 10.21782/GIPR0206–1619–2019–1(37–44). (In Russ.)

Kurbatskiy N.P. Investigation of the quantity and properties of forest combustible materials. *Issues of forest pyrology*. Krasnoyarsk, 1970, pp. 5–58. (In Russ.)

Malenko A.A., Malinovskikh A.A., Chichkarev A.S. Dynamics of forest fire occurrence in the south of Western Siberia. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2015, no. 6, pp. 68–72. (In Russ.)

Matveev A. M., Bartalev S.A. Comparative analysis of carbon emission estimates from natural fires in Russia based on global remote sensing products. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*, 2024, vol. 21, no. 4, pp.141–161. DOI: 10.21046/2070–7401–2024-21-4-141-161. (In Russ.)

Matveeva T.A. Reserves of forest combustible materials in the mountain forests of southern Siberia. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2008, vol. 12, pp. 30–33. (In Russ.)

McRae D.J., Conard S.G., Ivanova G.A., Sukhinin A.I., Baker S.P., Samsonov Y.N., Blake T.W., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Churkina T.V., Hao W.M., Koutzenogij K.P., Kovaleva N.M. Variability of fire behavior, fire effects, and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, vol. 11, no. 1, pp. 45–74. DOI: 10.1007/s11027-006-1008-4.

Morozov A.S., Ivanova G.A., Baksheeva E.O., Ivanov V.A. Fire hazard of pine young growth on unused agricultural lands. *Siberian Forestry Journal*, 2020, no. 3, pp. 26–36. (In Russ.)

Nieder R., Benbi D.K. Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment. Springer Dordrecht, 2008. 430 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-8433-1.

Osipenko A.E. Growth and development of artificial and natural pine stands in the Altai-Novosibirsk region of forest-steppes and ribbon forests: author's abstract. Diss. ... Cand. Agr. Sci. Yekaterinburg, 2020. 20 p. (In Russ.)

Panin I.A., Sekerin I.M., Usov M.V., Osipenko A.E. Specifics of extinguishing forest fires. *International Research Journal*, 2023, no. 11(113), ch. 1, pp.166–170. (In Russ.)

Polyakova M. A., Dietz L. Yu., Ermakov N. B. Investigation of the ecological features of ribbon forests of the Minusinsk intermontane basin by methods of gradient analysis. *Ecology*, 2008, no. 4, pp. 253–260. DOI: 10.1134/S1067413608040024. (In Russ.)

Ponomarev E.I., Kharuk V.I. Fire occurrence of forests in the Altai-Sayan region under observed climate changes. *Siberian Ecological Journal*, 2016, no. 1, pp. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104. (In Russ.)

Savin M.A., Malenko A.A., Ponomarev S.V., Dergunov R.V. Assessment of the stock of ground forest combustible materials in pine young growth in arid steppe. *Agrarian science for agriculture: a collection of mat. of the XIII int. sci.-pract. conf. Barnaul*, 2018, vol. 1, pp. 402–403. (In Russ.)

Senande-Rivera M., Insua-Costa D., Miguez-Macho G. Spatial and tem-poral expansion of global wildland fire activity in response to climate change. *Nature communications*, 2022, no. 13, art. no. 1208. DOI: 10.1038/s41467-022-28835-2.

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Climate change and forest fires in Russia. *Russian Journal of Forest Science*, 2013, no. 5, pp. 50–61. (In Russ.)

Sobachkin R.S., Kovaleva N.M. Influence of the frequency of ground fires on the stock of forest combustible materials in middle-aged pine forests in the forest-steppe of the Krasnoyarsk Territory. *Russian Journal of Forest Science*, 2024, no. 2, pp. 75–84. (In Russ.)

Sobachkin R.S., Kovaleva N.M., Petrenko A.E., Sobachkin D.S. Structure of combustible materials in pine forests of different ages in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Russian Journal of Forest Science*, 2017, no. 6, pp. 431–436. (In Russ.)

Sofronov M.A., Volokitina A.V. Reserve of undergrowth needles as combustible material in the forests of the Krasnoyarsk Angara region. *Coniferous Boreal Zone*, 2011, vol. 28, no. 1–2, pp. 60–63. (In Russ.)

The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome: FAO and UNEP, 2020. 214 p. DOI: 10.4060/ca8642en.

Usenya V.V. Study of the reserves of forest combustible materials of various groups in pine plantations. *Problems of forestry and silviculture: a collection of sci. papers*, 1997, no. 45, pp. 124–127. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Phytomass and primary production of Eurasian forests. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011. 575 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A. Phytomass of model trees of forest-forming species of Eurasia: database, climatically determined geography, taxation standards. Yekaterinburg: Ural state un-ty, 2016. 336 p. (In Russ.)

Usoltsev V.A., Tsepordey I.S., Urazova A.F., Bornikov A.V. Biomass of the undergrowth plants in the Ural forests and its allometric models. *Forests of Russia and economy in them*, 2023, no. 3 (86), pp. 51–64. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.006. (In Russ.)

Van Wagner C.E. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, 1968, vol. 14, no. 1, pp. 20–26. DOI: 10.1093/forestscience/14.1.20.

Zalesov S.V., Osipenko A.E., Tolstikov A.Yu., Usov M.V., Gof A.A., Savin V.V. Reproduction and rejuvenation of ribbon pine forests of the Altai Territory: monograph. Yekaterinburg: USFEU, 2023. 357 p. (In Russ.)

Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Meko D.M., Babushkina E.A., Vaganov E.A. Climate change and tree growth in the Khakass–Minusinsk Depression (South Siberia) impacted by large water reservoirs. *Scientific Reports*, 2021, no. 11, art. no. 14266. DOI: 10.1038/s41598-021-93745-0.

Материал поступил в редакцию 27.03.2025

---

**Смолякова А.А., Кукавская Е.А., Буряк Л.В., Жила С.В.** Вклад подроста в формирование комплексов горючих материалов и эмиссию углерода при пожарах в Минусинских ленточных борах Красноярского края // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 217–237. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.217-237

Леса занимают значительную часть поверхности суши и являются существенным аккумулятором атмосферного углерода. В условиях глобального изменения климата наблюдается увеличение горимости лесов и пирогенной эмиссии, что особенно проявляется на территории Сибири. Цель исследования – оценка роли подроста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в формировании комплексов лесных горючих материалов (ЛГМ) и оценка эмиссии углерода при сгорании ЛГМ в Минусинских ленточных борах. Исследования проводили на двух пробных площадях с подростом сосны комбинированного (ПП1) и естественного (ПП2) происхождения, сформированных после пожара 2007 г. и повторно пройденных огнем в 2022 г. Также исследовали контрольные не горевшие в 2022 г. участки. Установлено, что послепожарное лесовосстановление на ПП протекает успешно, количество подроста составило 21,5 и 16,3 тыс.шт/га на ПП1 и ПП2 соответственно. Общий запас подроста и напочвенных горючих материалов составил 38,3 т/га и 32,5 т/га, при этом доля подроста составила 77% и 73% на ПП1 и ПП2 соответственно. При пожарах сгорело 11,9 и 13,8 т/га органического вещества, пирогенная эмиссия составила 5,17 тС/га (ПП1) и 6,15 тС/га (ПП2). Вклад подроста в эмиссию углерода при пожарах составил 29% на ПП1 и 43% на ПП2. Доля эмиссии при сгорании хвои на ПП1 составила 22%, на ПП2 – 35 %, что связано с более развитой кроной на ПП2. Несмотря на то, что ленточные боры характеризуются высокой степенью горимости, лесорастительные особенности региона и частые ландшафтные пожары не дают возможности накопиться большим запасам лесных горючих материалов, что обуславливает меньшие, по сравнению с зонами южной и средней тайги Сибири, значения пирогенной эмиссии с единицы площади.

**Ключевые слова:** ленточные боры, лесные горючие материалы, подрост, напочвенный покров, запасы, лесные пожары, эмиссия углерода.

**Smolyakova A.A., Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Zhila S.V.** Contribution of Tree Regeneration to the Formation of Fuel Complexes and Carbon Emissions from Fires in the Minusinsk Ribbon-like Pine Forests of the Krasnoyarsk krai. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 217–237 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.217-237

Forests occupy a significant proportion of the Earth's land surface and act an essential role in accumulating atmospheric carbon. Under conditions of global climate change, forest fires and pyrogenic emissions are increasing, particularly in Siberia. The purpose of this study is to assess the role of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) regeneration in the formation of forest fuel complexes (FFC) and to estimate carbon emissions from the combustion of FFC in the Minusinsk Ribbon-like Pine Forests. The research was conducted on two sample plots of Scots pine regeneration of combined (SP1) and natural (SP2) origin, formed after the fire of 2007 and re-burned in 2022. In addition, control forest plots that did not burn in 2022 were investigated. It was found that post-fire reforestation on the sample plots is successful, with the number of trees reaching 21.5 and 16.3 thousand individuals/ha on SP1 and SP2, respectively. The total phytomass of model pine trees is 50-330% higher on the area with natural post-fire regeneration (SP2) than on the sample plot with combined regeneration (SP1). The total loads of regeneration and ground fuels were 38.3 t/ha and 32.5 t/ha, with the phytomass of regeneration accounting for 77% and 73% on SP1 and SP2, respectively. The fires consumed 11.9 and 13.8 t/ha of organic matter, with a pyrogenic emission of 5.17 tC/ha for SP1 and 6.15 tC/ha for SP2. The contribution of regeneration to fire carbon emissions was 29% for SP 1 and 43% for SP 2, with burnt needles accounting for 22% for SP 1 and 35% for SP 2, which is associated with a more developed tree crown on SP2. Overall, despite the fact that pine ribbon-like forests are characterized by high fire-frequency, the forest-growing characteristics of the region and the frequent landscape fires inhibit the accumulation of significant forest fuels, resulting in lower fire emissions per unit area compared to the southern and central taiga zones of Siberia.

**Keywords:** ribbon-like forests, forest fuels, regeneration, surface cover, loads, forest fires, carbon emissions.

---

**СМОЛЯКОВА Анастасия Антоновна** – старший лаборант лаборатории экспериментальной и прикладной экологии Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН. SPIN-код: 5417-8638. ORCID: 0009-0002-8079-157X.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: smolyakova.aa@ksc.krasn.ru

**SMOLYAKOVA Anastasiya A.** – Senior Laboratory Assistant, Laboratory of Experimental and Applied Ecology, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 5417-8638. ORCID: 0009-0002-8079-157X.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: smolyakova.aa@ksc.krasn.ru

**КУКАВСКАЯ Елена Александровна** – ведущий научный сотрудник лаборатории экспериментальной и прикладной экологии Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, кандидат биологических наук. SPIN-код: 7693-2106. ORCID: 0000-0002-2805-2588.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: kukavskaya@ksc.krasn.ru

**KUKAVSKAYA Elena A.** – PhD (Biological), Leading Researcher, Laboratory of Experimental and Applied Ecology, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 7693-2106. ORCID: 0000-0002-2805-2588.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: kukavskaya@ksc.krasn.ru

**БУРЯК Людмила Викторовна** – главный научный сотрудник Центра лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиала ФБУ ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства.

660062, ул. Крупской, д. 42, г. Красноярск, Россия;

профессор кафедры лесного хозяйства и природопользования Института лесных технологий Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва.

660037, пр. им. газ. «Красноярский рабочий», д. 31, Красноярск, Россия;

ведущий научный сотрудник лаборатории мониторинга леса Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 6634-1141. ORCID: 0000-0001-7475-2959.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: lburak@mail.ru

**BURYAK Ludmila V.** – DSc (Agricultural), Chief Researcher, Center for Forest Pyrology, Development of Technologies for the Protection of Forest Ecosystems, Protection and Reproduction of Forests – a branch of the All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry;

660062. Krupskoy str. 42. Krasnoyarsk. Russia;

Professor, Department of Silviculture, Forest Protection and Defense, Institute of Forest Technologies, Siberian State University of Science and Technology.

660037. Im. gaz. «Krasnoyarskiy rabochiy» av. 31. Krasnoyarsk. Russia;

Leading Researcher, Forest Monitoring Laboratory, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 6634-1141. ORCID: 0000-0001-7475-2959.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: lburak@mail.ru

**ЖИЛА Сергей Викторович** – старший научный сотрудник лаборатории лесной пирологии Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, кандидат биологических наук. SPIN-код: 6251-4188. ORCID: 0009-0008-4130-9094.

660036, Академгородок, д. 50/28, г. Красноярск, Россия. E-mail: new\_science@bk.ru

**ZHILA Sergey V.** – PhD (Biological), Senior Researcher, Forest Pyrology Laboratory, V.N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS. SPIN-code: 6251-4188. ORCID: 0009-0008-4130-9094.

660036. Akademgorodok 50/28. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: new\_science@bk.ru

**Е.Д. Сафронычева, М.А. Григорьев, Д.С. Каржаев,  
В.В. Шаршавикова, М.В. Тис, Н.А. Павлов, В.А. Волков**

**РАЗРАБОТКА МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ  
ГЕНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В ФОРМИРОВАНИЕ  
АДАПТИВНОЙ РЕАКЦИИ У СОСНЫ**

*Введение.* Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) выступает эдификатором бореальных лесов Европы [Lundqvist et al., 2019]. Изменения климата представляют серьезную угрозу для устойчивости популяций данного вида. Повышение среднегодовой температуры провоцирует учащение и интенсификацию абиотических стрессоров, таких как засухи, поздневесенние заморозки и лесные пожары, что, в свою очередь, ослабляет древостои и повышает их уязвимость к биотическим факторам – вспышкам численности насекомых-вредителей и распространению фитопатогенов [Millar, Stephenson, 2015; Seidl et al., 2017].

В естественных популяциях сосны наблюдается локальная адаптация к упомянутым стрессорам, так как частота их встречаемости варьируется в разных частях ее ареала [Leites, Benito Garzón, 2023]. Данный эволюционный потенциал может быть использован в селекционных программах. Одним из перспективных подходов является отбор и использование улучшенного лесосеменного материала, обладающего повышенной устойчивостью к ключевым стресс-факторам, для создания лесных культур [Feng et al., 2024]. В частности, эффективным инструментом для ускорения селекционного процесса выступает маркер-опосредованная селекция (Marker-Assisted Selection, MAS), позволяющая проводить отбор по целевым признакам на ранних стадиях развития растений на основе молекулярных маркеров [Muranty et al., 2014].

На текущий момент было проведено несколько исследований, посвященных изучению генетической основы локальной адаптации у различных видов сосны [Butcher, Southerton, 2007]. Несмотря на это, гены, связанные с формированием адаптации у сосны обыкновенной, остаются малоизученными из-за отсутствия полногеномной референсной сборки. Имеющиеся черновые сборки не позволяют провести достоверный полногеномный поиск ассоциаций (GWAS) – наиболее производительный метод для реше-

ния таких задач. Это обуславливает использование альтернативных стратегий, среди которых ключевое место занимает кандидат-генный подход. Его суть заключается в целевом анализе генов, гомологи которых ассоциированы с интересующими функциями у других видов.

Настоящее исследование направлено на выявление аллельных вариантов в генах-кандидатах, потенциально вовлеченных в формирование адаптации у сосны обыкновенной. Исследуемые гены были отобраны по литературным источникам как гомологи генов, ассоциированных с устойчивостью к стрессам у близкородственных хвойных видов. Исследование проведено на материале географических культур, выращенных из семян, собранных в различных регионах СССР. Полученные данные станут первыми шагами на пути создания молекулярных маркеров для селекции сосны обыкновенной. Использование таких маркеров позволит значительно ускорить создание посадочного материала, оптимально приспособленного к конкретным условиям произрастания.

*Описание генов.* Отбор генов-кандидатов для исследования проводили по литературным источникам с фокусом на гены, ассоциированные с адаптивными признаками у других видов хвойных. Основным критерием для включения в исследование было наличие нуклеотидных последовательностей гомологов выбранных генов для сосны обыкновенной в общедоступных базах данных.

Ген *PRR1* (PlantGenIE Acc. № MA\_71728g0010) относится к семейству генов Pseudo Response Regulator. *PRR1* у *Arabidopsis*, также известный как *TOC1* (Timing Of CAB Expression 1) – один из ключевых компонентов циркадных часов [Hotta, 2022]. У арабидопсиса *TOC1* регулирует циклическую экспрессию генов, включая подавление утренних компонентов циркадного ритма (*CCA1/LHY*) в вечернее время [Ito, 2008]. В исследовании [Caré et al., 2024] сообщается, что у ели в гене *PaPRR1* обнаружены SNP, ассоциированные с высотой расположения популяций над уровнем моря. Также указано, что экспрессия *PaPRR1* предположительно индуцируется в дневное время, т. е. зависит от светового стимула. В том же исследовании упоминается, что экспрессия *PaPRR1* может быть связана не только с циркадными циклами, но и с защитными реакциями в ответ на внешние стимулы [Caré et al., 2024].

Ген *PRR7* (*P.taeda* genome assembly scaffold50063) так же, как и *PRR1*, является частью циркадной системы, помогая координировать ритмы экспрессии генов, физиологических процессов (фотосинтез, устьица, гормональные циклы) с суточным световым циклом. В отличие от *PRR1* (*TOC1*),

функция которого проявляется преимущественно в вечернее или ночное время, *PRR7* демонстрирует пик экспрессии днём, т. е. действует раньше по ходу суточной осцилляции. У мутантов *PRR7* арабидопсиса наблюдается снижение чувствительности к красному/дальнему красному свету при деэтиоляции (переходе от роста в темноте к росту на свету). Таким образом, *PRR7* выступает как посредник в фотосигнальных путях через фитохромы [Kaczorowski, Quail, 2003]. Кроме того, у арабидопсиса *PRR7* подвергается температурно-зависимой деградации (например, при холоде) через ген High Expression Of Osmotically Responsive Gene 15 (*HOS15*), что влияет на устойчивость растений к заморозкам [Kim et al., 2024].

Дегидрины – белки семейства LEA II (Late Embryogenesis Abundant), которые накапливаются при стрессах, связанных с обезвоживанием: холод, засуха, осмотический стресс. Дегидрины, как правило, гидрофильны, стабилизируют мембраны, белки и другие структуры клетки при потере воды, выступают как «молекулярные щиты» против повреждений, вызванных стрессом [van Zee et al., 1995]. У хвойных растений они демонстрируют сезонную динамику: в сосновых иглах их количество увеличивается весной и осенью, когда клетки испытывают дефицит влаги и перепады температур, с локализацией в хлоропластах, митохондриях и клеточной стенке [Korotaeva et al., 2015]. В исследованиях дегидрины рассматриваются как важные регуляторы процессов адаптации хвойных деревьев к засухе и температурным стрессам [Wachowiak et al., 2009; Stival Sena et al., 2018].

Ранее нами был обнаружен SNP, локализованный в четвертом интроне *PRR1* у сосны, расщепляющийся в популяции Ленинградской области. Также в гомологе *PRR7* сосны была обнаружена аналогичная мутация [Волков и др., 2024]. На выявленные полиморфизмы были разработаны KASP-маркеры.

В гене *dhn1* (NCBI Acc. № *FJ201299.1*), кодирующем дегидрин 1 у сосны, в первом интроне и первом экзоне в ходе секвенирования были обнаружены сцепленные полиморфизмы – три SNPs и делеция длиной 108 п.о. Попытка маркировать один из выявленных SNP (C/T) с помощью KASP-метода не была успешной, так как близко расположенные однонуклеотидные полиморфизмы искажали получаемые результаты. Для выявления аллельного статуса сцепленных полиморфизмов в гене *dhn1* были разработаны STS-маркеры, фланкирующие inDel длиной 108 пн (рис. 1).

Описанные гены являются регуляторами важнейших процессов роста и развития сосны и влияют на динамику развития растений и реакцию на абиотические и биотические стрессы.

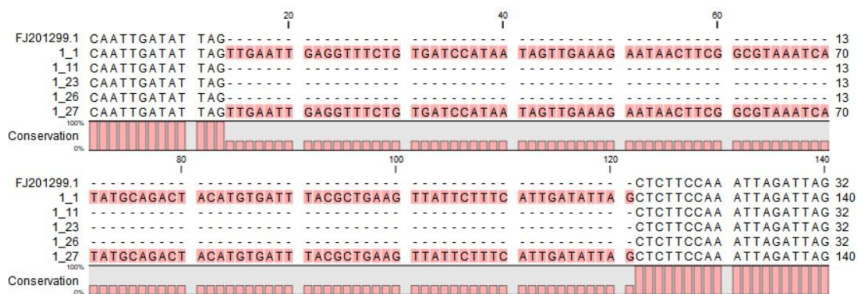


Рис. 1. Полиморфизм (делеция), выявленный у сосны обыкновенной в гене *dhnl*  
 Fig. 1. Polymorphism (deletion) identified in Scots pine in the *dhnl* gene

В работе также были использованы два гена митохондриального генома – *COX1* (NCBI Acc. № KP954672.1) и *ATP-A* (NCBI Acc. № KP954674.1). Ранее полиморфизмы данных генов были использованы для филогеографических исследований в пределах западной части Восточной Европы, в Крыму и на Кавказе [Семериков и др., 2015]. Несмотря на то, что митохондриальные гены не являются адаптивными, на их полиморфизмы также были разработаны KASP-маркеры. Они могут значительно упростить использование этих генов в филогенетических исследованиях.

*Материалы и методика исследования.* Для апробации разработанных маркеров была сформирована тестовая выборка из популяции сосны, произрастающей в географических культурах в Любанском (Тосненском) участковом лесничестве, кв. 69, выделы 10, 11, 12. Географические культуры сосны, площадью 29,0 га, были заложены сотрудниками ЛенНИИЛХ в 1976-1977 гг. Объект расположен в подзоне южной тайги, географические координаты 59°30' с. ш. 30°52' в. д. В культурах испытывается семенное потомство 43 климатипов сосны, семена которых были собраны в разных географических пунктах бывшего Советского Союза [Лесные..., 2024]. С учетом различных географических и климатических условий мест исходных заготовок семян объекты географических культур сосны оптимально подходят для целей апробации молекулярных маркеров, разработанных для адаптивных генов хвойных пород.

Был проведен сбор образцов хвои (100 деревьев) из 4 разных климатипов: Ленинградская обл., Карелия, Эстония и Удмуртия (табл. 1).

Таблица 1

**Описание климатипов географических культур сосны, вошедших в тестовую выборку [Лесные..., 2024]****Description of climatypes from Scots pine geographic cultures included in the test sample [Лесные..., 2024]**

№ климатипа по гос. реестру	Район заготовки семян		Географические координаты	
	регион	лесхоз	с. ш.	в. д.
19	Ленинградская	Госненский	59°30'	30°54'
16	Карелия	Сортавальский	61°50'	30°28'
24	Эстония	Элвасский	58°10'	26°28'
67	Удмуртия	Воткинский	57°03'	54°00'

Собранные образцы хвои до начала процедур выделения ДНК хранились в кельвинаторе при  $-80^{\circ}\text{C}$ . Выделение ДНК проводили с помощью модифицированного СТАВ метода [Rahimah et al., 2006]. Генотипирование образцов проводилось с использованием 4 KASP-маркеров и 1 STS-маркера. Все маркеры были нацелены на полиморфизмы в генах-кандидатах, найденные с помощью секвенирования по Сэнгеру.

Нуклеотидные последовательности разработанных праймеров представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Перечень разработанных маркеров****List of developed markers**

Название гена, детектируемый полиморфизм	Последовательность праймера		
	Прямой 1 (FAM for KASP)	Прямой 2 (HEX for KASP)	Обратный
<i>PRR1</i> , SNP G/C	ACTTTGAGTGTCT CTCAGGG	ACTTTGAGTGTCT TCTCAGCG	CGTAAATCAATGC AGCTCAACAAAA
<i>PRR7</i> , SNP G/A	CCCAGACTAGTT ACTTGGATTGTA	CCAGACTAGTTA CTTGGATTGCA	AACCAGGAAAAT CTTTGAGCTC
<i>dhn1</i> , deletion 108 bp	CAAACCATTGAT GTTGGCTCTT	—	CTCGCCTTCTTCC TCTTCATC
<i>COX1</i> , SNP A/C	CGAGGAACAGCA AGACCTTATTAT	AGGAACAGCAA GACCTTATTCT	TATTTGGGTTGCC CCGTC
<i>ATP-A</i> , SNP A/C	GCCAGTCATAGC GGACAT	GCCAGTCATAGC GGACCT	TCTGGCGGTCAAT GTGTC

Для проведения ПЦР с использованием KASP-маркеров была подготовлена смесь праймеров, состоящая из двух прямых аллель-специфичных

праймеров и одного универсального обратного праймера, праймеры концентрацией 10 мкМ смешивались в пропорции 1:1:3. Для проведения ПЦП использовался коммерческий набор KASP 2x Master Mix (LGC Biosearch Technologies, Великобритания).

Реакционная смесь на один образец состояла из 1X KASP Master Mix, 10 нМ прямых праймеров и 30 нМ обратного праймера, примерно 20 нг ДНК в конечном объеме 10 мкл. Амплификация проводилась методом RealTime PCR.

Условия амплификации: съёмка до начала амплификации – 1 мин при 30 °С; начальный цикл денатурации – 15 мин при 94 °С; 10 циклов по 20 с при 94 °С и 1 мин при 61 °С; 60 циклов по 20 с при 94 °С и 1 мин при 55 °С; съёмка после амплификации – 1 мин при 37 °С. Все этапы сопровождались плавным градиентом изменения температуры на 1,6 °С/с.

Реакционная смесь для проведения ПЦП с использованием STS-маркера состояла из 1X Taq Turbo buffer, 0,4 мкМ dNTP, 0,5 нМ прямого и обратного праймеров, 1 ед TaqDNA Polymerase и примерно 20 нг ДНК в конечном объеме 10 мкл.

Условия амплификации: начальный цикл денатурации – 5 мин при 95 °С; 30 циклов по 30 с при 95 °С, 30 с при 62 °С и 35 с при 72 °С; финальная элонгация – 5 мин при 72 °С.

Результаты KASP-маркирования представлены на рис. 2 и 3. Синие и жёлтые отметки на графиках соответствуют гомозиготам различных аллелей, зелёные – гетерозиготам.

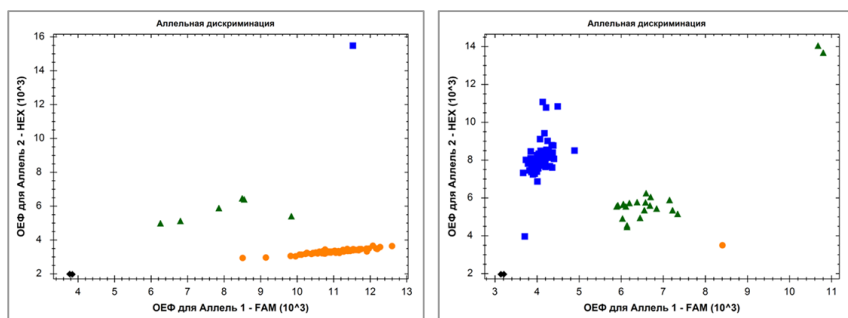


Рис. 2. График дискриминации аллелей SNP (G/C) в гене *PRR1* (слева) и SNP (G/A) в гене *PRR7* (справа)

Fig. 2. Allele discrimination plot for the SNP (G/C) in the *PRR1* gene (left) and the SNP (G/A) in the *PRR7* gene (right)

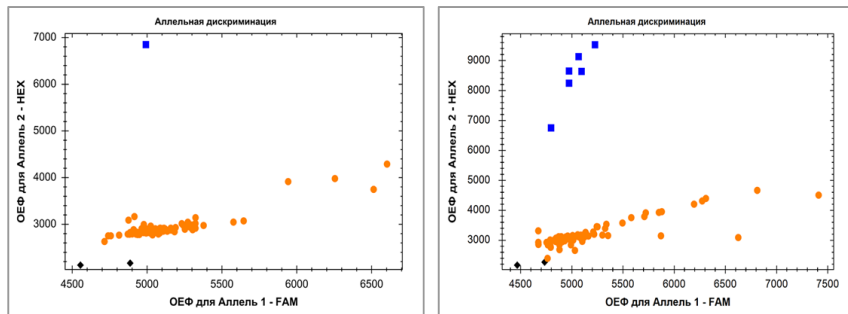


Рис. 3. График дискриминации аллелей SNP (A/C) в митохондриальном гене *COX1* (слева) и SNP (A/C) в митохондриальном гене *ATP-A* (справа)

Fig. 3. Allele discrimination plot for the SNP (A/C) in the mitochondrial *COX1* gene (left) and the SNP (A/C) in the mitochondrial *ATP-A* gene (right)

На рис. 4 представлен пример визуализации продуктов STS-маркеров для гена *dhn1*. Продукт размером 346 п.о. указывает на отсутствие делеции, 238 п.о. – на наличие делеции, наличие обоих продуктов указывает на гетерозиготность исследуемого образца.

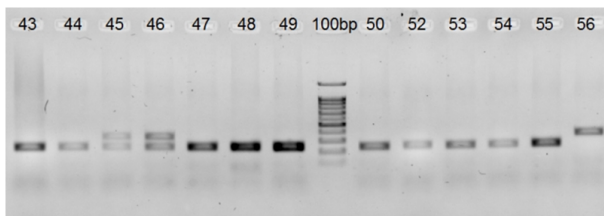


Рис. 4. Пример визуализации продуктов ПЦР с применением STS-маркера на ген *dhn1* у сосны

Fig. 4. Example of PCR product visualization using the STS-marker for the *dhn1* gene in pine

Результаты генотипирования представлены в процентном соотношении различных аллельных вариантов в каждом из климатипов (табл. 3).

*Статистическая обработка.* Для анализа закономерностей распределения различных аллелей по климатипам использовался тест Фишера, который позволяет проводить попарное сравнение на небольшом количестве данных. На рис. 5 представлены результаты сравнения в виде тепловой карты: по вертикали расположены гены, по горизонтали – попарные сравнения всех климатипов.

Таблица 3

Сводная таблица генотипирования образцов

Summary table of sample genotyping

Ген	Вариант аллели	Климатип			
		Ленинградский	Карельский	Эстонский	Удмуртский
<i>PRR1</i>	GG	100	95	100	85
	CC	0	5	0	0
	GC	0	0	0	15
<i>PRR7</i>	AA	75	60	75	87,5
	GG	0	5	0	0
	AG	25	35	25	12,5
<i>dhn1</i>	del-del	75	80	80	70
	norm-norm	10	0	5	5
	hetero	15	20	15	25
<i>COX1</i>	A	100	95	100	100
	C	0	5	0	0
<i>ATP-A</i>	A	90	90	95	97,5
	C	10	10	5	2,5

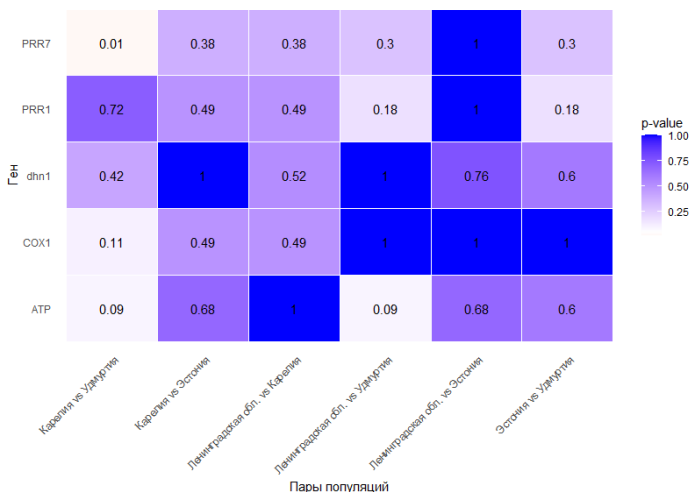


Рис. 5. Тепловая карта попарных сравнений климатипов по результатам генотипирования выборки

Fig. 5. Heatmap of pairwise comparisons between climatypes based on sample genotyping results

Цвет и его интенсивность отражают значение  $p$ -value – статистическо-го критерия достоверности. Зависимость считается достоверной, если её  $p$ -value меньше или равен 0,05. Дополнительно значение  $p$ -value отражено в виде числового значения в соответствующем поле графика.

Как видно из рис. 5, образцы из Карелии показали значительное достоверное отличие по маркеру *PRR7* относительно образцов из Удмуртии. Можно сделать вывод, что данный SNP имеет разную частоту встречаемости в северо-западных и юго-восточных популяциях. Так как по данному гену не было выявлено закономерностей при сравнении с другими климатическими типами, имеющими схожую широту, можно предположить, что он имеет клин по долготе.

*Заключение.* Настоящее исследование направлено на апробацию ген-кандидатного подхода в разработке молекулярных маркеров, ассоциированных с адаптацией сосны обыкновенной к различным экологическим условиям России. В ходе работы на основе данных секвенирования были разработаны ПЦР-маркеры для пяти генов-кандидатов. Анализ аллельных частот в географических культурах выявил статистически значимую дифференциацию между карельским и удмуртским климатическими типами по маркеру в гене *PRR7*, что согласуется с его известной ролью в контроле циркадных ритмов и фотопериодической чувствительности. Это позволяет рассматривать разработанный на него маркер как перспективный для исследования адаптивно значимых признаков.

Полученные результаты демонстрируют принципиальную возможность использования ген-кандидатного подхода для изучения адаптивной изменчивости сосны. Отсутствие четких ассоциаций для остальных исследованных генов может свидетельствовать о более сложном, полигенном контроле адаптации либо о необходимости увеличения объема выборки.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания ФБУ «СПб-НИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований от 26.12.2024 № 053-00005-25-00 по теме «Разработка лабораторного регламента молекулярного маркирования генов, участвующих в формировании адаптивных реакций у ели и сосны, для использования при планировании лесовосстановления в условиях климатических изменений» (шифр 2-Г25 молекулярное маркирование).

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

### **Библиографический список**

Волков В.А., Каржаев Д.С., Сафроньчева Е.Д., Тис М.В., Чухланцева К.В., Шаршавикова В.В., Потюкина Е.К. Использование KASP- и HRM-маркеров для

выявления полиморфизмов, влияющих на адаптивные признаки сосны и ели // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 251. С. 229-244. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.229-244.

Лесные генетические ресурсы России: изучение, сохранение, использование, управление: коллективная монография в 2 кн. Пушкино: Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2024. 546 с.

Семериков В.Л., Путинцева Ю.А., Орешкова Н.В., Семерикова С.А., Крутовский К.В. Разработка новых маркеров митохондриальной ДНК сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для популяционно-генетических и филогеографических исследований // Генетика. 2015. Т. 51, № 12. С. 1386-1390. DOI: 10.7868/S0016675815120103.

Butcher P., Southerton S. Marker Assisted Selection in Forestry Species // Marker Assisted Selection: Current Status and Future Perspectives in Crop, Livestock, Forestry and Fish. Rome, 2007. Ch. 15. P. 284-305.

Caré O., Chano V., Erley M., Rogge M., Gailing O. Circadian rhythm and redox homeostasis candidate genes showed association with shallow elevation in Norway spruce // Plant Biology. 2024. Vol. 26, iss. 4. P. 508-520. DOI: 10.1111/plb.13642.

Feng J., Dan X., Cui Y., Gong Y., Peng M., Sang Y., Ingvarsson P.K., Wang J. Integrating evolutionary genomics of forest trees to inform future tree breeding amid rapid climate change // Plant Communications. 2024. Vol. 5, iss. 10. Art. no. 101044. DOI: 10.1016/j.xplc.2024.101044.

Hotta C.T. The evolution and function of the PSEUDO RESPONSE REGULATOR gene family in the plant circadian clock // Genetics and Molecular Biology. 2022. Vol. 45, iss. 3 Suppl 1. Art. no. e20220137. DOI: 10.1590/1678-4685-gmb-2022-0137.

Ito S., Niwa Y., Nakamichi N., Kawamura H., Yamashino T., Mizuno T. Insight into missing genetic links between two evening-expressed pseudo-response regulator genes TOC1 and PRR5 in the circadian clock-controlled circuitry in *Arabidopsis thaliana* // Plant and cell physiology. 2008. Vol. 49, iss. 2. P. 201-213. DOI: 10.1093/pcp/pcm178.

Kaczorowski K.A., Quail P.H. Arabidopsis PSEUDO-RESPONSE REGULATOR7 is a signaling intermediate in phytochrome-regulated seedling deetiolation and phasing of the circadian clock // The Plant Cell. 2003. Vol. 15, iss. 11. P. 2654-2665. DOI: 10.1105/tpc.015065.

Kim Y.J., Kim W.Y., Somers D.E. HOS 15-mediated turnover of PRR 7 enhances freezing tolerance // New Phytologist. 2024. Vol. 244, iss. 3. P. 798-810. DOI: 10.1111/nph.20062.

Korotaeva N., Romanenko A., Suvorova G., Ivanova M.I., Lomovatskaya L., Borovskii G., Voinikov V. Seasonal changes in the content of dehydrins in mesophyll cells of common pine needles // Photosynthesis Research. 2015. Vol. 124. P. 159-169. DOI: 10.1007/s11120-015-0112-2.

Leites L., Benito Garzón M. Forest tree species adaptation to climate across biomes: Building on the legacy of ecological genetics to anticipate responses to climate change // Global Change Biology. 2023. Vol. 29, iss. 17. P. 4711-4730. DOI: 10.1111/gcb.16711.

Lundqvist L., Ahlström M.A., Axelsson E.P., Mörling T., Valinger E. Multi-layered Scots pine forests in boreal Sweden result from mass regeneration and size stratification // *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 441. P. 176-181. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.03.044.

Millar C.I., Stephenson N.L. Temperate forest health in an era of emerging mega-disturbance // *Science*. 2015. Vol. 349, iss. 6250. P. 823-826. DOI: 10.1126/science.aaa9933.

Muranty H., Jorge V., Bastien C., Lepoittevin C., Bouffier L., Sanchez L. Potential for marker-assisted selection for forest tree breeding: lessons from 20 years of MAS in crops // *Tree Genetics & Genomes*. 2014. Vol. 10, iss. 6. P. 1491-1510. DOI: 10.1007/s11295-014-0790-5.

Rahimah A.B., Cheah S.C., Rajinder S. Freeze-drying of oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf and its effect on the quality of extractable DNA // *Journal of Oil Palm Research*. 2006. Vol. 18. P. 296-304.

Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T.A., Reyser C.P.O. Forest disturbances under climate change // *Nature climate change*. 2017. Vol. 7, iss. 6. P. 395-402. DOI: 10.1038/nclimate3303.

Stival Sena J., Giguère I., Rigault P., Bousquet J., Mackay J. Expansion of the dehydrin gene family in the Pinaceae is associated with considerable structural diversity and drought-responsive expression // *Tree Physiology*. 2018. Vol. 38, iss. 3. P. 442-456. DOI: 10.1093/treephys/tpx125.

Wachowiak W., Balk P.A., Savolainen O. Search for nucleotide diversity patterns of local adaptation in dehydrins and other cold-related candidate genes in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Tree Genetics & Genomes*. 2009. Vol. 5, iss. 1. P. 117-132. DOI: 10.1007/s11295-008-0188-3.

van Zee K., Chen F.Q., Hayes P.M., Close T.J., Chen T.H.H. Cold-specific induction of a dehydrin gene family member in barley // *Plant Physiology*. 1995. Vol. 108, iss. 3. P. 1233-1239. DOI: 10.1104/pp.108.3.1233.

## References

Butcher P., Southerton S. Marker Assisted Selection in Forestry Species. *Marker Assisted Selection: Current Status and Future Perspectives in Crop, Livestock, Forestry and Fish*. Rome, 2007, ch. 15, pp. 284-305.

Caré O., Chano V., Erley M., Rogge M., Gailing O. Circadian rhythm and redox homeostasis candidate genes showed association with shallow elevation in Norway spruce. *Plant Biology*, 2024, vol. 26, iss. 4, pp. 508-520. DOI: 10.1111/plb.13642.

Feng J., Dan X., Cui Y., Gong Y., Peng M., Sang Y., Ingvarsson P.K., Wang J. Integrating evolutionary genomics of forest trees to inform future tree breeding amid rapid climate change. *Plant Communications*, 2024, vol. 5, iss. 10, art. no. 101044. DOI: 10.1016/j.xplc.2024.101044.

Forest Genetic Resources of Russia: Study, Conservation, Use, Management: a collective monograph in 2 books. Pushkino: All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry, 2024. 546 p. (In Russ.)

Hotta C.T. The evolution and function of the PSEUDO RESPONSE REGULATOR gene family in the plant circadian clock. *Genetics and Molecular Biology*, 2022, vol. 45, iss. 3 Suppl 1, art. no. e20220137. DOI: 10.1590/1678-4685-gmb-2022-0137.

Ito S., Niwa Y., Nakamichi N., Kawamura H., Yamashino T., Mizuno T. Insight into missing genetic links between two evening-expressed pseudo-response regulator genes TOC1 and PRR5 in the circadian clock-controlled circuitry in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and cell physiology*, 2008, vol. 49, iss. 2, pp. 201–213. DOI: 10.1093/pcp/pcm178.

Kaczorowski K.A., Quail P.H. Arabidopsis PSEUDO-RESPONSE REGULATOR7 is a signaling intermediate in phytochrome-regulated seedling deetiolation and phasing of the circadian clock. *The Plant Cell*, 2003, vol. 15, iss. 11, pp. 2654–2665. DOI: 10.1105/tpc.015065.

Kim Y.J., Kim W.Y., Somers D.E. HOS 15-mediated turnover of PRR 7 enhances freezing tolerance. *New Phytologist*, 2024, vol. 244, iss. 3, pp. 798–810. DOI: 10.1111/nph.20062.

Korotaeva N., Romanenko A., Suvorova G., Ivanova M.I., Lomovatskaya L., Borovskii G., Voinikov V. Seasonal changes in the content of dehydrins in mesophyll cells of common pine needles. *Photosynthesis Research*, 2015, vol. 124, pp. 159–169. DOI: 10.1007/s11120-015-0112-2.

Leites L., Benito Garzón M. Forest tree species adaptation to climate across biomes: Building on the legacy of ecological genetics to anticipate responses to climate change. *Global Change Biology*, 2023, vol. 29, iss. 17, pp. 4711–4730. DOI: 10.1111/gcb.16711.

Lundqvist L., Ahlström M.A., Axelsson E.P., Mörling T., Valinger E. Multi-layered Scots pine forests in boreal Sweden result from mass regeneration and size stratification. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 441, pp. 176–181. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.03.044.

Millar C.I., Stephenson N.L. Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science*, 2015, vol. 349, iss. 6250, pp. 823–826. DOI: 10.1126/science.aaa9933.

Muranty H., Jorge V., Bastien C., Lepoittevin C., Bouffier L., Sanchez L. Potential for marker-assisted selection for forest tree breeding: lessons from 20 years of MAS in crops. *Tree Genetics & Genomes*, 2014, vol. 10, iss. 6, pp. 1491–1510. DOI: 10.1007/s11295-014-0790-5.

Rahimah A.B., Cheah S.C., Rajinder S. Freeze-drying of oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf and its effect on the quality of extractable DNA. *Journal of Oil Palm Research*, 2006, vol. 18, pp. 296–304.

Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M.,

Fabrika M., Nagel T.A., Reyer C.P.O. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 2017, vol. 7, iss. 6, pp. 395-402. DOI: 10.1038/nclimate3303.

Semerikov V.L., Putinseva Yu.A., Oreshkova N.V., Semerikova S.A., Krutovskiy K.V. Development of New Mitochondrial DNA Markers for Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) for Population-Genetic and Phylogeographic Studies *Genetika*, 2015, vol. 51, no. 12, pp. 1386-1390. DOI 10.7868/S0016675815120103. (In Russ.)

Stival Sena J., Giguère I., Rigault P., Bousquet J., Mackay J. Expansion of the dehydrin gene family in the Pinaceae is associated with considerable structural diversity and drought-responsive expression. *Tree Physiology*, 2018, vol. 38, iss. 3, pp. 442-456. DOI: 10.1093/treephys/tpx125.

Volkov V.A., Karzhayev D.S., Safronycheva E.D., Tis M.V., Chukhlantseva K.V., Sharshavikova V.V., Potokina E.K. Use of KASP and HRM Markers for Detection of Polymorphisms Affecting Adaptive Traits of Pine and Spruce. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 251, pp. 229-244. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.229-244. (In Russ.)

Wachowiak W., Balk P.A., Savolainen O. Search for nucleotide diversity patterns of local adaptation in dehydrins and other cold-related candidate genes in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Tree Genetics & Genomes*, 2009, vol. 5, iss. 1, pp. 117-132. DOI: 10.1007/s11295-008-0188-3.

van Zee K., Chen F.Q., Hayes P.M., Close T.J., Chen T.H.H. Cold-specific induction of a dehydrin gene family member in barley. *Plant Physiology*, 1995, vol. 108, iss. 3, pp. 1233-1239. DOI: 10.1104/pp.108.3.1233.

Материал поступил в редакцию 19.12.2025

---

**Сафроньчева Е.Д., Григорьев М.А., Каржаев Д.С., Шаршавикова В.В., Тис М.В., Павлов Н.А., Волков В.А.** Разработка молекулярно-генетических маркеров генов, вовлеченных в формирование адаптивной реакции у сосны // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 238–254. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.238-254

В условиях глобального изменения климата, приводящего к учащению засух, заморозков и всплеск численности вредителей, актуальной задачей является селекция сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на повышение устойчивости. Перспективным инструментом для ускорения селекционного процесса является маркер-опосредованная селекция (MAS), требующая разработки молекулярных маркеров, связанных с адаптивными признаками. Целью настоящего исследования была разработка и первичная апробация таких маркеров. Ввиду отсутствия полногеномной референсной сборки для сосны обыкновенной был применен кандидат-генный подход. В работе сфокусировались на генах, гомологи которых у близкородственных видов ассоциированы с адаптацией: *PRR1* и *PRR7* (компоненты циркадных часов, участвующие в реакции на фотопериод и температурный стресс), *dhn1* (дегидрин, обеспечивающий устойчивость к

обезвоживанию), а также митохондриальных генах *COX1* и *ATP-A* (филогенетические маркеры). На основе выявленных методом секвенирования полиморфизмов (SNP и делеция) были разработаны 4 KASP- и 1 STS-маркер. Их апробация проведена на географических культурах сосны на выборке из 100 деревьев четырех климатипов (Ленинградская обл., Карелия, Эстония, Удмуртия). Статистический анализ с использованием точного критерия Фишера выявил достоверное различие ( $p \leq 0,05$ ) в частотах аллелей гена *PRR7* между карельским и удмуртским климатипами, что указывает на возможную долготную клинальность этого локуса и его потенциальную информативность для оценки адаптивной дифференциации популяций. Для остальных генов в рамках данной выборки четких ассоциаций не установлено. Результаты работы демонстрируют эффективность кандидат-генного подхода для начального этапа разработки молекулярных маркеров адаптации у сосны обыкновенной и закладывают основу для дальнейших исследований по установлению надежных фенотип-генотипных связей с целью последующего применения в селекционных программах для создания устойчивого посадочного материала.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, однонуклеотидные полиморфизмы, ген-кандидатный подход, молекулярные маркеры, KASP, STS, адаптивные признаки, лесовосстановление, климатические изменения.

**Safronycheva E.D., Grigoryev M.A., Karzhaev D.S., Sharshavikova V.V., Tis M.V., Pavlov N.A., Volkov V.A.** Development of molecular genetic markers of genes encoding adaptive response methods in pine. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehničeskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 238–254 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.238-254

Under the conditions of global climate change, which leads to increased frequency of droughts, frosts, and pest outbreaks, the breeding of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for enhanced resilience is an urgent task. Marker-assisted selection (MAS) is a promising tool for accelerating the breeding process, requiring the development of molecular markers associated with adaptive traits. The aim of this study was to develop and preliminarily test such markers. Due to the lack of a whole-genome reference assembly for Scots pine, a candidate-gene approach was employed. The study focused on genes whose homologs in related species are associated with adaptation: *PRR1* and *PRR7* (components of the circadian clock involved in response to photoperiod and temperature stress), *dhn1* (a dehydrin conferring resistance to dehydration), as well as the mitochondrial genes *COX1* and *ATP-A* (phylogenetic markers). Based on polymorphisms (SNPs and a deletion) identified by sequencing, 4 KASP and 1 STS markers were developed. Their testing was conducted on geographical cultures of pine using a sample of 100 trees from four climotypes (Leningrad Region, Karelia, Estonia, Udmurtia). Statistical analysis using Fisher's exact test revealed a significant difference ( $p \leq 0.05$ ) in allele frequencies of the *PRR7* gene between the Karelian and Udmurtian climotypes, indicating a potential longitudinal cline for this locus and its potential

informativeness for assessing adaptive population differentiation. For the other genes, no clear associations were established within this sample. The results demonstrate the effectiveness of the candidate-gene approach for the initial stage of developing molecular markers for adaptation in Scots pine and lay the groundwork for further research to establish reliable phenotype-genotype linkages with the aim of subsequent application in breeding programs to create resilient planting material.

**Keywords:** Scots pine, single nucleotide polymorphisms, candidate gene approach, molecular markers, KASP, STS, adaptive traits, reforestation, climate change.

---

**САФРОНЫЧЕВА Елизавета Дмитриевна** – младший научный сотрудник центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия;

младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологий Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. SPIN-код: 4971-2924.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: esafronycheva@mail.ru

**SAFRONYCHEVA Elizaveta D.** – Junior Researcher at the Centre for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia;

Junior Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute. SPIN-code: 4971-2924.

194021. Institute per. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: esafronycheva@mail.ru

**ГРИГОРЬЕВ Матвей Александрович** – лаборант-исследователь научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологий Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства;

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия;

студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dagrmaeiui@gmail.com

**GRIGORYEV Matvey A.** – Laboratory Research Assistant at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute;

194021. Institute per. 21. St. Petersburg. Russia;

student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: dagrmaeiui@gmail.com

**КАРЖАЕВ Дмитрий Сергеевич** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: karzhaevd@gmail.com

**KARZHAEV Dmitry S.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University.

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institute per. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: karzhaevd@gmail.com

**ШАРШАВИКОВА Вероника Владимировна** – лаборант-исследователь научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: veronikasharshavikova@gmail.com

**SHARSHAVIKOVA Veronika V.** – Laboratory Research Assistant at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institute per. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: veronikasharshavikova@gmail.com

**ТИС Маргарита Витальевна** – младший научный сотрудник Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства;

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия;

аспирант ИТМО;

197101, Кронверкский пр., д. 49, лит. А, Санкт-Петербург, Россия;

младший инженер-исследователь Проектного центра агротехнологий Сколковского института науки и технологий. SPIN-код: 1716-7665. ORCID: 0009-0009-6998-8823.

121205, Большой бульвар, д. 30, стр. 1, Москва, Россия. E-mail: margarita.tis@yahoo.com

**TIS Margarita V.** – Junior Researcher at the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Junior Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institute per. 21. St. Petersburg. Russia;

PhD student, ITMO;

197101. Kronverkskiy av. 49. Let. A. St. Petersburg. Russia;

Junior Research Engineer at the Project Center for Agro Technologies, Skolkovo Institute of Science and Technology. SPIN-code: 17167665. ORCID: 0009-0009-6998-8823.

121205. Bolshoy boul. 30. Bld. 1. Moscow. Russia. E-mail: margarita.tis@yahoo.com

**ПАВЛОВ Никита Александрович** – стажёр-исследователь центра био- и медицинских технологий Сколковского института науки и технологий, магистрант Сколтех.

121205, Большой бульвар, д. 30, стр. 1, Москва, Россия.

**PAVLOV Nikita A.** – Research intern at the Center for Bio- and Medical Technologies, Skolkovo Institute of Science and Technology, Skoltech master's student.

121205. Bolshoy boul. 30. Bld. 1. Moscow. Russia.

**ВОЛКОВ Владимир Александрович** – директор Центра биоинформатики и геномных исследований Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова;

194024, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия;

научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, кандидат биологических наук.

194021, Институтский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vol-j@mail.ru

**VOLKOV Vladimir A.** – PhD (Biological), Director of the Center for Bioinformatics and Genomic Research, St.Petersburg State Forest Technical University;

194024. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia;

Researcher at the Scientific Research Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg Forestry Research Institute.

194021. Institute per. 21. St. Petersburg. Russia. E-mail: vol-j@mail.ru

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК

---

УДК 630\*37

**М.М. Иготти, А.В. Андронов, Е.Г. Хитров, Н.Д. Горюнов,  
Н.И. Трифонов**

### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПНЕВМОКАТКОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ С ПОЧВОГРУНТОМ**

*Введение.* Колесная техника широко распространена на лесозаготовках и в лесном хозяйстве. По сравнению с гусеничной техникой, колесные лесные машины более маневренны и отличаются меньшей металлоемкостью, однако при их работе на почвогрунтах отмечается повышенное колеобразование, срез, уплотнение и иные виды повреждения опорной поверхности.

Многие ученые внесли вклад в изучение вопросов моделирования воздействия и снижения негативного влияния колесных машин на лесные почвогрунты, однако до настоящего времени не в полной мере проработаны математические модели и положения теории, раскрывающие характер взаимодействия перспективных средооащадящих движителей колесных лесных машин повышенной проходимости с почвогрунтами. В частности, практически не исследованы вопросы проходимости движителей-пневмокатков пониженного давления и повреждаемости почвогрунта под их воздействием.

На практике отсутствие законченного научного описания осложняет обоснование параметров и режимов работы движителей машин, оснащенных пневмокатками, совместимых с почвенно-грунтовыми условиями, что затрудняет подбор проходимой лесной техники. При этом спектр операций, для которых использование машин, оснащенных пневмокатковыми движителями, позволит повысить эффективность их выполнения, широк и не ограничивается только лесозаготовительными операциями в условиях почвогрунтов со сниженной несущей способностью. В качестве

проблемной области можем отметить, например, прокладку трасс линейных объектов, когда зачастую работы ведутся в условиях переувлажненных и заболоченных почвогрунтов с ограниченной возможностью маневра при прокладке трассы, что дополнительно подчеркивает важность тщательного обоснования параметров движителей техники, работающей на местности.

*Цель исследования* – сформулировать и реализовать математическую модель взаимодействия пневмокатковых движителей лесных машин с почвенно-грунтовыми опорными поверхностями и проанализировать функции колееобразования и тягово-сцепных свойств от параметров движителей и свойств почвогрунтов.

*Методы исследования.* Методической основой исследования послужили положения, доказанные в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» [Хитров, 2020] и в работах ведущих отечественных ученых в области лесного хозяйства и лесозаготовительного производства. При разработке и реализации модели использованы методы математического моделирования, численные методы, проведен вычислительный эксперимент.

*Постановка задачи.* В качестве основы математической модели примем классическое уравнение для определения глубины колеи  $h$ , учитывающее в качестве механических характеристик почвогрунта модуль общей деформации  $E$  и несущую способность  $p_s$ , а в качестве характеристики воздействия – среднее давление  $p$  по площади контакта [Агейкин, 1981; Хитров, 2020]:

$$h = \frac{p_s}{p_s - p} \frac{Jp}{E\sqrt{(1 - Jp/E)ax_2}} \arctg \frac{(H - h)ax_2}{\sqrt{(1 - Jp/E)ax_2}}. \quad (1)$$

Уравнение (1) дополняется формулами для расчета коэффициента формы пятна контакта  $J$  и коэффициента  $a$  для учета мощности слоя почвогрунта  $H$  [Агейкин, 1981]:

$$J = \frac{0,03 + x_1 / x_2}{0,6 + 0,43x_1 / x_2}, \quad (2)$$

$$a = 0,64(1 + x_2 / H),$$

а также системой формул для расчета несущей способности деформируемого лесного почвогрунта  $p_s$  [Ларин, 2007]:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_s = P_{s0} \alpha_z, \\ P_{s,0} = 0,5 J_1 B_1 N_1 x_2 \gamma + N_2 \gamma h + J_3 B_3 N_3 C, \\ J_1 = \frac{x_1}{x_1 + 0,4 x_2}, \quad J_3 = \frac{x_1 + x_2}{x_1 + 0,5 x_2}, \\ B_1 = \frac{\pi - 4\beta \operatorname{tg} \varphi}{\pi + 4\beta \operatorname{tg} \varphi}, \quad B_3 = \frac{3\pi - 2\beta}{3\pi + 2\beta}, \\ N_1 = \frac{1 - \Pi^4}{\Pi^5}, \quad N_2 = \frac{1}{\Pi^2}, \quad N_3 = \frac{2 \cdot (1 + \Pi^2)}{\Pi^3}, \quad \Pi = \operatorname{tg} \frac{\pi - 2\varphi}{4}, \\ \frac{\sqrt{2}}{2} x_2 \operatorname{tg} \varphi \cos \frac{3\varphi}{4} \exp \left[ \left( \frac{\pi}{4} + \frac{3\varphi}{4} \right) \operatorname{tg} \frac{3\varphi}{4} \right], \\ \alpha_z = 1 + h \cdot \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} x_2 \operatorname{tg} \varphi \cos \frac{3\varphi}{4} \exp \left[ \left( \frac{\pi}{4} + \frac{3\varphi}{4} \right) \operatorname{tg} \frac{3\varphi}{4} \right]}{2 \frac{H}{\cos \beta} \cdot \left( \frac{H}{\cos \beta} - h - 0,25 \frac{\sqrt{2}}{2} x_2 \operatorname{tg} \varphi \cos \frac{3\varphi}{4} \exp \left[ \left( \frac{\pi}{4} + \frac{3\varphi}{4} \right) \operatorname{tg} \frac{3\varphi}{4} \right] \right)}, \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $\beta$  – уклон поверхности почвогрунта,  $C$ ,  $\varphi$ ,  $\gamma$  – удельное сцепление, угол внутреннего трения и объемный вес почвогрунта соответственно,  $x_1$ ,  $x_2$  – параметры пятна контакта, соответствующие большему и меньшему измерению, что важно учитывать при расчете параметров контакта  $J$ ,  $J_1$ ,  $J_2$  ввиду повышенной, по сравнению со стандартной шиной, шириной пневмокаткового движителя.

$$x_1 = \max \{b; l\}, \quad x_2 = \min \{b; l\}, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина пятна контакта (измерение в поперечном направлении по отношению к направлению движения машины),  $l$  – длина пятна контакта (измерение в продольном направлении).

Ширина пятна контакта  $b$  принимается как:

$$b = B, \quad (6)$$

где  $B$  – ширина пневмокатка.

В формулах (2)–(6) и, как следствие, уравнении (1) используется величина длины пятна контакта  $l$ , причем с операцией выбора (5), определение которой для эластичного колесного движителя представляет собой нетри-

виальную вычислительную задачу: в уравнении для  $l$  присутствуют иско-  
мое значение глубины колеи  $h$  и прогиб шины  $h_z$ :

$$l = \sqrt{D \cdot h_z - h_z^2} + \sqrt{D \cdot (h + h_z) - (h + h_z)^2}, \quad (7)$$

где  $D$  – диаметр колеса,  $h_z$  – прогиб шины.

Прогиб шины  $h_z$  находится по формуле [Гуськов и др., 2019]:

$$h_z = \frac{w}{2\pi p_w \sqrt{r_0 r_c}}, \quad (8)$$

где  $w$  – вес движителя,  $p_w$  – внутреннее давление в шине,  $r_0$  – радиус коле-  
са,  $r_c$  – статический радиус шины. Две последние величины определяют по  
формулам:

$$r_0 = D/2, \quad (9)$$

$$r_c = \sqrt{BH_T / \pi}, \quad (10)$$

где  $H_T$  – высота шины.

Существенным отличием математической модели, реализуемой в иссле-  
довании, от рассмотренных ранее является учет повышенной податливости  
пневмокатка сверхнизкого давления (по сравнению со стандартной). Для это-  
го принимается во внимание не только высота  $H_T$  и внутреннее давление  $p_w$ ,  
но и распределение давления  $p$  по пятну контакта [Гуськов и др., 2019]:

$$p = \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{w}{F_k}, \quad (11)$$

где  $F_k$  – площадь пятна контакта:

$$F_k = \pi / 4 bl, \quad (12)$$

$K_2$  – коэффициент продольной неравномерности распределения давления,  
 $K_2 = 1,5$ ,  $K_1$  – коэффициент, зависящий от диаметра шины, выражение ко-  
торого получено в результате приближения данных [Гуськов и др., 2019]:

$$K_1 = 1,261D^{-0,328}. \quad (13)$$

При помощи аппроксимации справочных данных [Андронов и др.,  
2013] получим приближенное выражение для внутреннего давления:

$$p_w = -0,00149 + 4,2432[w]. \quad (14)$$

Анализ формул (1)–(14) показывает, что при заданных механических  
параметрах почвогрунта  $E$ ,  $C$ ,  $\varphi$ ,  $\gamma$ ,  $H$  и движителя  $D$ ,  $B$ ,  $H_T$ ,  $w$ ,  $p_w$  либо

$p_w(w)$  по (14),  $K_2$  уравнение (1) разрешимо численно относительно глубины колеи  $h$ ; таким образом, при ограничении глубины колеи [Хитров, 2020]:

$$h \leq h_{\text{lim}} = 0,2 \text{ м}, \quad (15)$$

математическая модель позволяет прогнозировать экологичность пневмокаткового движителя сверхнизкого давления в заданных почвенно-грунтовых условиях.

Более того, численное решение (1) относительно  $h$ , с учетом результатов промежуточных вычислений при реализации модели, позволяет установить функцию среднего давления  $p(h)$ , которая используется при расчете силы сопротивления деформируемого почвогрунта движению машины  $F_R$  и коэффициента сопротивления движению  $\varphi_R$  [Агейкин, 1981; Хитров, 2020]:

$$\varphi_R = \frac{F_R}{w} = \frac{b}{w} \int_0^h p(h) dh. \quad (16)$$

Для завершения оценки опорной проходимости пневмокаткового движителя потребуется вычислить силу  $F_{\text{сн}}$  и коэффициент сцепления  $\mu_T$  с поверхностью почвогрунта [Агейкин, 1981; Хитров, 2020]:

$$\mu_T = \frac{F_{\text{сн}}}{w} = \frac{1}{w} b \int_0^l \tau(x) dx, \quad (17)$$

где  $\tau(x)$  – функция касательного напряжения, распределенного вдоль поверхности контакта. С учетом механических свойств почвогрунта функция вводится следующим образом [Агейкин, 1981; Хитров, 2020]:

$$\tau(x) = \frac{1}{\frac{1}{p \operatorname{tg} \varphi + \xi C \mathbf{I}(\xi)} + \frac{t_{\text{гп}}}{Gj(x)}}. \quad (18)$$

где  $G$  – модуль сдвига почвогрунта,  $j(x)$  – сдвиговая деформация почвогрунта вдоль пятна контакта:

$$j(x) = Sx, \quad (19)$$

где  $S$  – коэффициент буксования движителя (для колесных лесных машин допустимо принять как входной параметр  $S = 0,20$ ).

В формуле (18) используется индикаторная функция:

$$\mathbf{I}(\xi) = \begin{cases} 1, & \xi > 0, \\ 0, & \xi \leq 0, \end{cases} \quad (20)$$

физический смысл использования которой в данном случае заключается в учете ослабления почвогрунта на сдвиг при развивающемся срезе. Выражение для аргумента функции  $\xi$  [Агейкин, 1981; Хитров, 2020]:

$$\xi = 1 - \frac{j(x) - j_0}{t_{zp}} \mathbf{I}(j(x) - j_0), \quad (21)$$

где  $t_{zp}$  – шаг грунтозацепов (определяется конструкцией движителя, входной параметр математической модели),  $j_0$  – допустимое значение сдвиговой деформации почвогрунта, заключенного между грунтозацепами, не приводящее к развитию среза [Агейкин, 1981; Хитров, 2020]:

$$j_0 = (p \operatorname{tg} \varphi + C) \frac{t_{zp}}{G} \sqrt{\frac{G}{C}} - 1. \quad (22)$$

Согласно формулам (17)–(22), до определенного момента сцепление движителя с почвогрунтом  $\mu_T$  обусловлено как связностью  $C$ , так и фрикционными свойствами частиц  $\varphi$ , после – только внутренним трением частиц почвогрунта с параметром  $\varphi$ .

При вычисленных значениях коэффициентов сопротивления и сцепления  $\varphi_R$ ,  $\mu_T$  критерием опорной проходимости является значение коэффициента тяги  $\varphi_P$  [Агейкин, 1981; Хитров, 2020]:

$$\varphi_P = \mu_T - \varphi_R > \varphi_{P,\lim}, \quad (23)$$

где  $\varphi_{P,\lim}$  – пороговое значение, определяемое уклоном почвогрунта, возможностью преодоления обособленных препятствий, требуемой силой тяги и пр.

Будем рассматривать два случая. Для лесного почвогрунта в целом, когда нет необходимости учитывать наличие дернового слоя (например, когда его мощность существенно меньше прогнозируемой глубины колеи (слой слишком тонок), либо слой отличается сравнительно невысокой прочностью), на основе обработки данных [Хитров, 2020] запишем:

$$C = 0,011E^{0,703}, \quad (24)$$

$$\varphi = 13,559E^{0,169}, \quad (25)$$

$$H = 0,462E^{-0,571}, \quad (26)$$

$$G = 0,518E^{0,385}, \quad (27)$$

$$\gamma = 0,018E^{0,053}, \quad (28)$$

$$\rho = 1,842E^{0,053}. \quad (29)$$

Во втором случае почвогрунт отличается наличием мощного дернового слоя. На основе обработки данных [Агейкин, 1981] для дернового слоя лесного почвогрунта получим:

$$C = 0,031E^{0,873}, \quad (30)$$

$$\varphi = 17,948E^{0,248}, \quad (31)$$

$$H = 0,390E^{0,384}, \quad (32)$$

$$G = 0,970E^{0,537}, \quad (33)$$

$$\gamma = 0,016E^{0,016}, \quad (34)$$

$$\rho = 1,623E^{0,016}, \quad (35)$$

Для удобства практического использования результатов приведем их относительно сопротивления почвогрунта вдавливанию стандартного конического зонда  $q_c$  – характеристики прочности почвогрунта, которую возможно измерить непосредственно в полевых условиях. Согласно [Rohani, Baladi, 1981], выражение для  $q_c$  следующее:

$$q_c = -\frac{C}{\operatorname{tg} \varphi} + \Theta \frac{24G^m (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi)(1 + \sin \varphi) \operatorname{tg} \alpha}{d^2 \gamma^2 (m-2)(m-3)(3 - \sin \varphi) \operatorname{tg}^3 \varphi}, \quad (36)$$

где обозначено:

$$\Theta = (C + (Z + L)\gamma \operatorname{tg} \varphi)^{3-m} (C + Z\gamma \operatorname{tg} \varphi)^{2-m} (C + (Z + 3L - Lm)\gamma \operatorname{tg} \varphi),$$

$$m = \frac{4 \sin \varphi}{3 + 3 \sin \varphi},$$

где  $\alpha$  – угол заточки конуса ( $60^\circ$ ),  $L$  – высота конической части зонда (31 мм),  $d$  – диаметр основания конуса зонда (35,7 мм),  $Z$  – глубина вдавливания зонда (0,2 м),  $\gamma$  – удельный вес почвогрунта. После подстановки выражений для механических свойств почвогрунта и мощного дернового слоя в формулу (36) получены расчетные данные, практически точно приближаемые линейными функциями модуля деформации  $E$ :

$$q_c^* = 0,290 + 2,373E, \quad (37)$$

$$q_c = 0,158 + 4,527E. \quad (38)$$

Обратим внимание, что выражения для сопротивления зондированию (37)–(38) на практике позволяют оперативно интерпретировать результаты

моделирования, поскольку затраты времени и трудоемкость испытания почвогрунта зондированием существенно ниже, чем при определении прочих механических параметров, что критически важно в полевых условиях.

Параметры движителя-пневмокатка Firestone 55x50-26 в нашем исследовании приняты по [Андронов и др., 2013].

*Результаты исследования.* Трудоемкость реализации составленной математической модели состоит в необходимости многократного численного решения уравнения (1) относительно глубины колеи  $h$  при определении функции давления  $p(h)$ , требующейся для оценки ключевого показателя при прогнозе проходимости движителя – коэффициента сопротивления движению  $\varphi_R$  по (16). В связи с этим для проведения вычислительного эксперимента по обоснованию допустимых параметров пневмокаткового движителя сверхнизкого давления была специально разработана программа, имплементирующая математическую модель в виде класса на языке программирования Python. Выбор языка и среды разработки связан с открытой лицензией на использование в образовательных и научных целях, а также наличием развитой базы библиотек для численного разрешения возникающих математических задач.

Реализация математической модели выполнена при варьировании модуля общей деформации почвогрунта  $E$  в пределах от 0,1 до 1,1 МПа, что охватывает сложные (слабонесущий почвогрунт III категории) и особо сложные (лесной почвогрунт IV категории) условия работы техники. Расчеты проведены для двух случаев:

- лесной почвогрунт без учета возможного наличия мощного дернового покрова (на графиках «Почвогрунт\*»), что традиционно для реализации математических моделей взаимодействия движителей техники с опорными поверхностями в рамках научной специальности; механические свойства лесного почвогрунта приближены функциями от модуля общей деформации (24)–(29);

- лесной почвогрунт при наличии мощного дернового покрова, существенно влияющего на показатели проходимости и колееобразования (на графиках «Слой дерна + грунт»), что при теоретических исследованиях учитывается сравнительно реже ввиду неполноты справочной информации по свойствам дерна и сложностей вычислительного характера; в нашей работе справочные данные дополнены приближенными зависимостями механических свойств слоя дерна от модуля общей деформации (30)–(35).

В свою очередь, выполнение вычислений в требуемом объеме и с учетом сложности структуры математической модели в обоих случаях обеспечено за счет использования современных высокопроизводительных инструментов при программной реализации модели в виде класса Python.

Результаты расчетов показывают, что для пневмокатковых движителей на лесных почвогрунтах III категории («классические» слабонесущие лесные почвогрунты) фактором, ограничивающим вес движителя, является грузоподъемность шины при внутреннем давлении по (14). Для движителя со стандартными параметрами ограничение веса по грузоподъемности отмечается при параметрах почвогрунта, близких ко II категории (лесные почвогрунты средней прочности). Результаты расчетов проиллюстрированы на рис. 1, 2 (на рисунках здесь и далее «Станд.» обозначена стандартная шина лесных машин 700/45, «Сверхн.» обозначена шина сверхнизкого давления на примере Firestone 55x50-26, символ «\*» относится к лесному почвогрунту без мощного верхнего дернового слоя).

Как и в случае оценки экологичности движителя, отмечается, что, начиная с определенных оценок механических свойств почвогрунта, ограничение веса по грузоподъемности шины наступает раньше, чем ограничение по опорной проходимости.

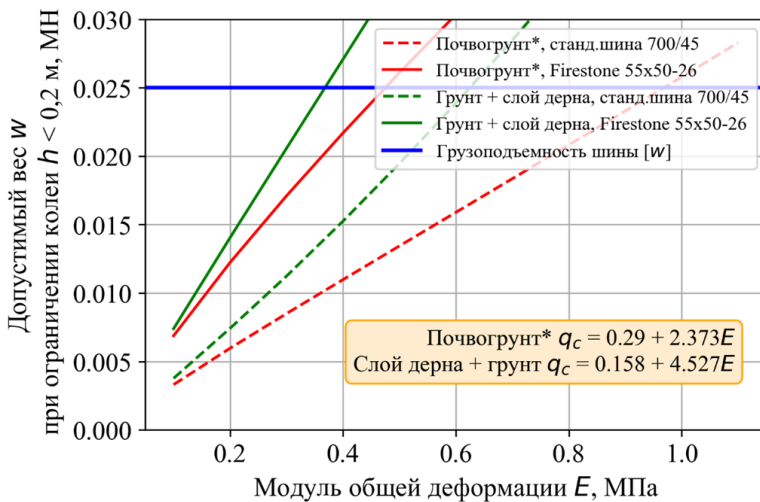


Рис. 1. Допустимый вес движителя, ограниченный глубиной колеи (0,2 м)

Fig. 1. Vehicle weight limited by the track depth (0.2 m)

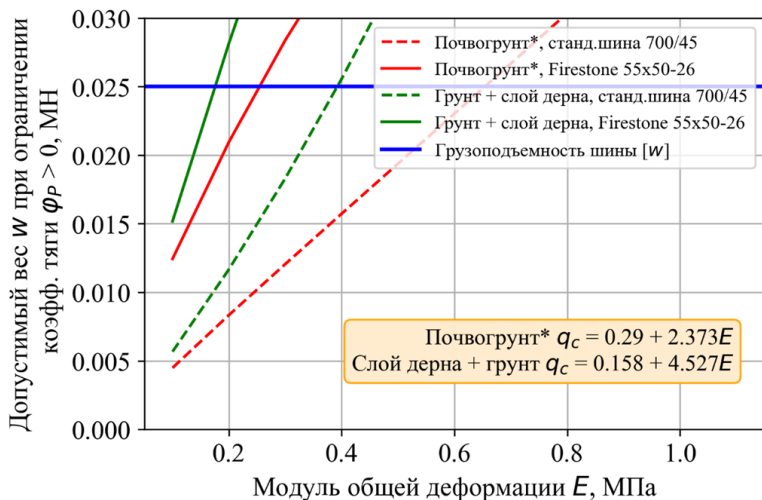


Рис. 2. Допустимый вес движителя, ограниченный оценкой опорной проходимости (положительный коэффициент тяги)

Fig. 2. Vehicle weight limited by the estimated cross-country ability (positive drawbar-pull coefficient value)

В результате обработки расчетных данных получены следующие формулы для практической оценки допустимого веса движителя, ограниченного глубиной колеи  $[w]_h$  и критерием опорной проходимости  $[w]_p$ . Для шины со стандартными параметрами вес движителя, работающего на лесных почвогрунтах, без учета влияния дернового покрова, следует ограничить с учетом механических свойств опорной поверхности:

$$\begin{cases} [w]_h = 0,0010 + 0,0248E, \\ [w]_p = 0,0011 + 0,0364E. \end{cases} \quad (39)$$

Ограничение (39) действует для почвогрунтов с модулем общей деформации до 0,97 МПа (II категория прочности), далее вес ограничен грузоподъемностью шины. При тех же параметрах шины, но при наличии мощного дернового слоя, укрепляющего поверхность движения, вес ограничен значениями по формулам:

$$\begin{cases} [w]_h = 0,0040 + 0,0429E, \\ [w]_p = 0,0148 + 0,0436E. \end{cases} \quad (40)$$

Ограничение (40) действует для почвогрунтов с модулем общей деформации менее 0,49 МПа (III категория прочности), на более прочных почвогрунтах вес ограничен грузоподъемностью шины.

Для пневмокаткового движителя установлено, что вес, при котором соблюдается ограничение по глубине колеи и выполнен критерий опорной проходимости, ограничен значениями по формулам:

$$\begin{cases} [w]_h = -0,0022 + 0,0450E, \\ [w]_p = 0,0030 + 0,0561E. \end{cases} \quad (41)$$

Ограничение (41) действительно для лесных почвогрунтов с модулем общей деформации менее 0,60 МПа (ориентировочно соответствует III категории прочности). В случае, если лесной почвогрунт «укреплен» слоем дерна, ограничение имеет вид:

$$\begin{cases} [w]_h = 0,0007 + 0,0660E, \\ [w]_p = 0,0249 + 0,0407E \end{cases} \quad (42)$$

и должно соблюдаться для почвогрунтов с модулем общей деформации до 0,27 МПа (IV категория прочности). При больших оценках прочности и механических свойств вес движителя сверхнизкого давления ограничивается грузоподъемностью шины.

Во всех рассмотренных случаях допустимое значение веса  $w$  в первую очередь связано с глубиной образующейся колеи  $h$ . При этом движитель обладает определенным «запасом» оценки коэффициента тяги  $\varphi_p$ . С технологической точки зрения это обстоятельство представляется благоприятным, поскольку на пути движения машины вероятно наличие обособленных препятствий, преодоление которых возможно при соблюдении условия (23) при  $\varphi_{p,\text{lim}} \neq 0$ . На рис. 3–5 проиллюстрированы сводные данные по рассчитанным коэффициентам для каждого из исследованных случаев.

В результате обработки расчетных данных установлены функции тягово-сцепных свойств движителя при весе  $w$ , ограниченном глубиной колеи 0,2 м либо, для более прочных опорных поверхностей, грузоподъемностью шины.

Для стандартных шин лесных машин коэффициент сопротивления движению  $\varphi_R$  и коэффициент сцепления  $\mu_T$  связаны с модулем общей деформации  $E$  лесного почвогрунта без прочного дернового слоя:

$$\begin{cases} \varphi_R = 0,2185 + 0,083E - 0,0836E^2, \\ \mu_T = 0,3322 + 0,0677E - 0,0154E^2, \end{cases} \quad (43)$$

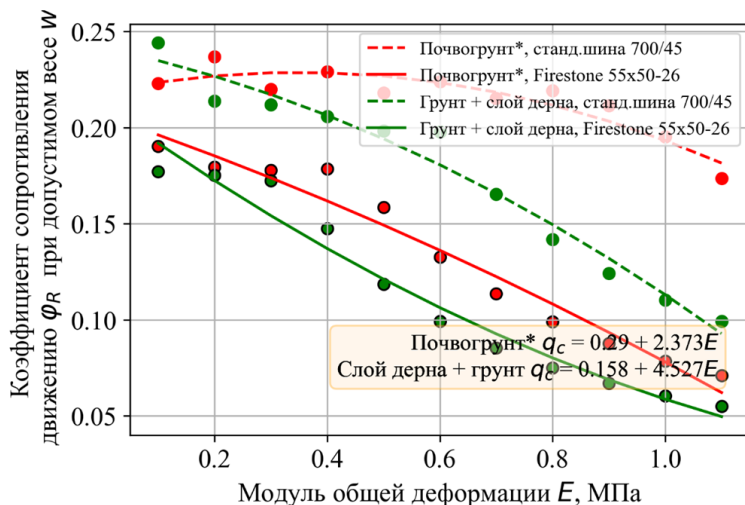


Рис. 3. Коэффициент сопротивления движению при весе движителя, ограниченном глубиной колеи (0,2 м)

Fig. 3. Rolling resistance coefficient for the vehicle weight limited by the rut depth (0.2 m)

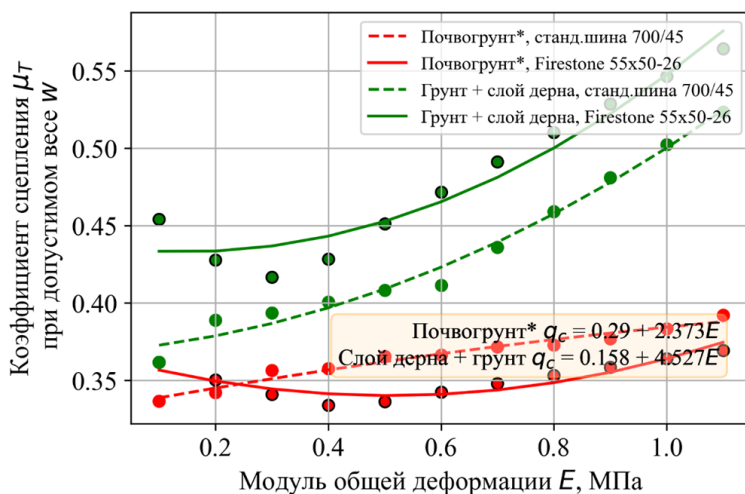


Рис. 4. Коэффициент сцепления при весе движителя, ограниченном глубиной колеи (0,2 м)

Fig. 4. Net thrust coefficient for the vehicle weight limited by the rut depth (0.2 m)

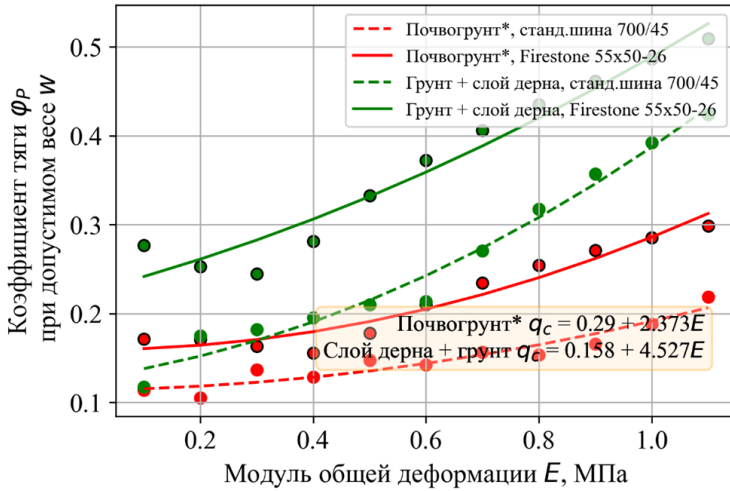


Рис. 5. Коэффициент тяги при весе движителя, ограниченном глубиной колеи (0,2 м)

Fig. 5. Drawbar-pull coefficient for the vehicle weight limited by the rut depth (0.2 m)

при этом коэффициент тяги:

$$\varphi_p = 0,1137 + 0,0093E + 0,0682E^2. \quad (44)$$

Те же величины, но при наличии мощного дернового слоя, связаны с модулем общей деформации  $E$ :

$$\begin{cases} \varphi_R = 0,2065 - 0,1005E - 0,0279E^2, \\ \mu_T = 0,3657 - 0,1002E + 0,0985E^2, \end{cases} \quad (45)$$

$$\varphi_p = 0,1592 + 0,0003E + 0,1264E^2. \quad (46)$$

Коэффициенты сопротивления движению  $\varphi_R$  и коэффициент сцепления  $\mu_T$ , рассчитанные для случая работы пневмокаткового движителя сверхнизкого давления, вес которого ограничен расчетным значением глубины колеи  $h = 0,2$  м либо грузоподъемностью шины, связаны с модулем общей деформации  $E$  лесного почвогрунта без прочного дернового слоя формулами:

$$\begin{cases} \varphi_R = 0,2416 - 0,0614E - 0,0672E^2, \\ \mu_T = 0,3688 + 0,0294E + 0,1019E^2 \end{cases} \quad (47)$$

при этом коэффициент тяги:

$$\Phi_p = 0,1272 + 0,0908E + 0,1691E^2. \quad (48)$$

Те же величины, но рассчитанные с учетом наличия прочного дернового слоя, определяются формулами:

$$\begin{cases} \Phi_R = 0,2124 - 0,2114E + 0,0577E^2, \\ \mu_T = 0,4364 - 0,0458E + 0,1567E^2, \end{cases} \quad (49)$$

$$\Phi_p = 0,2241 + 0,1656E + 0,0990E^2. \quad (50)$$

Сравнение результатов вычислительного эксперимента при реализации математической модели для стандартных шин и для пневмокатковых шин сверхнизкого давления показывает, что при допустимом весе движителя сцепление пневмокаткового движителя с почвогрунтом сопоставимо со сцеплением стандартного движителя, при этом коэффициент сопротивления движению в среднем снижается на 39%, а коэффициент тяги в среднем повышается на 43%.

#### *Заключение.*

1. Сформулирована и реализована математическая модель, прогнозирующая глубину колеи и опорную проходимость пневмокаткового движителя на лесном почвогрунте, учитывающая механические свойства и возможное наличие мощного слоя дерна, габариты и грузоподъемность движителя, а также специфику его конструкции, определяющую эластичность и параметры пятна контакта при расчете целевых показателей – колеобразования и опорной проходимости;

2. Результаты расчетов показали, что для пневмокатковых движителей на лесных почвогрунтах III категории («классические» слабонесущие лесные почвогрунты), а также более прочных поверхностях фактором, ограничивающим вес движителя, является грузоподъемность шины при внутреннем давлении по (14). Для движителя со стандартными параметрами ограничение веса по грузоподъемности отмечается при параметрах почвогрунта, близких ко II категории (лесные почвогрунты средней прочности) либо выше. Для менее прочных опорных поверхностей вес ограничивается значениями по формулам (39)–(42);

3. При соблюдении ограничений по глубине колеи и грузоподъемности движитель обладает «запасом» оценки коэффициента тяги; установлено, что его оценка является квадратичной функцией модуля общей деформации. С технологической точки зрения это обстоятельство

представляется благоприятным, поскольку на пути движения машины вероятно наличие обособленных препятствий, преодоление которых возможно при соблюдении условия (23). Для практики представлены формулы (43)–(50) для расчета коэффициента сопротивления движению, коэффициента сцепления и коэффициента тяги при указанных ограничениях веса движителя;

4. Сравнение результатов вычислительного эксперимента при реализации математической модели для стандартных шин и для пневмокатковых шин сверхнизкого давления показывает, что при допустимом весе движителя сцепление пневмокаткового движителя с почвогрунтом сопоставимо со сцеплением стандартного движителя, при этом коэффициент сопротивления движению в среднем снижается на 39%, а коэффициент тяги в среднем повышается на 43%.

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

### Библиографический список

Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.  
Андронов А.В., Валяжонков В.Д., Коваленко А.А., Ву Х.К. Эффективность применения пневмокатков на лесных трелевочных машинах // Вестник КрасГАУ. 2013. № 12 (87). С. 214-219.

Гуськов В.В., Поварехо А.С., Сушнев А.А., Шимукович В.И., Шишко П.А., Гапанович В.Н., Лысанович П.В. Исследование тягово-сцепных свойств колесного трактора при работе на переувлажненных землях // Агропанорама. 2019. № 5 (135). С. 8-12.

Ларин В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2007. 608 с.

Хитров Е.Г. Комплексное обоснование параметров и режимов работы движителей лесных машин: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2020. 319 с.

Rohani B., Baladi G.Y. Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1981. 41 p.

### References

Ageykin Ya.S. Vehicle Cross-Country Performance. Moscow: Mashinostroenie, 1981. 232 p. (In Russ.)

Andronov A.V., Valyazhonkov V.D., Kovalenko A.A., Wu H.K. Efficiency of Using Pneumatic Rollers on Forest Skidding Machines. *Vestnik KrasSAU*, 2013, no. 12 (87), pp. 214-219. (In Russ.)

Guskov V.V., Povarekho A.S., Sushnev A.A., Shimukovich V.I., Shishko P.A., Gapanovich V.N., Lysanovich P.V. Study of the Traction and Adhesion Properties of a

Wheeled Tractor When Working on Waterlogged Lands. *Agropanorama*, 2019, no. 5 (135), pp. 8-12. (In Russ.)

*Larin V.V.* Methods for Predicting and Improving the Cross-Country Support Capability of Multi-Axle Wheeled Vehicles on Terrain. Diss. ... Dr. Tech. Sci. Moscow, 2007. 608 p. (In Russ.)

*Khitrov E.G.* Comprehensive Substantiation of the Parameters and Operating Modes of Forestry Machine Propellers. Diss. ... Dr. Tech. Sci. Arkhangelsk, 2020. 319 p. (In Russ.)

*Rohani B., Baladi G.Y.* Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1981. 41 p.

*Материал поступил в редакцию 03.03.2025*

---

**Игotti М.М., Андронов А.В., Хитров Е.Г., Горюнов Н.Д., Трифионов Н.И.** Разработка и исследование математической модели взаимодействия пневмокаткового движителя с почвогрунтом // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 255–273. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.255-273

Исследование направлено на изучение взаимодействия пневмокатковых движителей лесных машин с почвенно-грунтовыми опорными поверхностями со сниженной несущей способностью. При реализации составленной математической модели использованы методы математического моделирования, численные методы, проведен вычислительный эксперимент. Исследование показало, что для пневмокатковых движителей на лесных почвогрунтах III категории («классические» слабонесущие лесные почвогрунты), а также более прочных поверхностях фактором, ограничивающим вес движителя, является грузоподъемность шины. Для движителя со стандартными параметрами ограничение веса по грузоподъемности отмечается при параметрах почвогрунта, близких ко II категории (лесные почвогрунты средней прочности) либо выше. В результате обработки расчетных данных установлен линейный характер функций тягово-сцепных свойств движителя при весе, ограниченном глубиной колеи 0,2 м либо, для более прочных опорных поверхностей, грузоподъемностью шины. Установлено, что при соблюдении ограничений по глубине колеи и грузоподъемности движитель обладает запасом оценки коэффициента тяги; его оценка является квадратичной функцией модуля общей деформации грунта. С технологической точки зрения это обстоятельство благоприятно, поскольку на пути движения машины вероятно наличие обособленных препятствий. Для практики представлены формулы для расчета коэффициента сопротивления движению, коэффициента сцепления и коэффициента тяги при указанных ограничениях веса движителя. Сравнение

результатов вычислительного эксперимента при реализации математической модели для стандартных шин и для пневмокатковых шин сверхнизкого давления показало, что при допустимом весе движителя сцепление пневмокаткового движителя с почвогрунтом сопоставимо со сцеплением стандартного движителя, при этом коэффициент сопротивления движению в среднем снижается на 39%, а коэффициент тяги в среднем повышается на 43%.

**Ключевые слова:** коэффициент тяги, коэффициент сопротивления движению, глубина колеи, дерновый слой, лесные машины, колесный движитель.

**Igotti M.M., Andronov A.V., Khitrov E.G., Goryunov N.D., Trifonov N.I.** Development and study of mathematical model of pneumatic vehicle of a lower pressure and soil interaction. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 255–273 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.255-273

This study examines the interaction of pneumatic vehicles of a lower pressure of forestry machines with soil surfaces with reduced bearing capacity. Mathematical modeling and numerical methods were used to implement the developed mathematical model, and a computational experiment was conducted. The study showed that for pneumatic vehicles of a lower pressure on Category III forest soils (“classic” weak forest soils), as well as on more concrete surfaces, the tire bearing capacity is the limiting factor for the vehicle weight. For a standard-size tractor wheel, the bearing capacity weight limitation is observed for soil conditions close to Category II (medium-strength forest soils) or higher. Processing the calculated data revealed a linear function for the tractor's traction and thrust properties at a weight limited by a rut depth of 0.2 m or, for more durable soil surfaces, by the tire's bearing capacity. It was established that, while adhering to the rut depth and bearing capacity limitations, the tractor possesses drawbar-pull coefficient estimate that is a quadratic function of the soil deformation modulus. This is advantageous from a technological perspective, as the presence of isolated obstacles is likely along the vehicle's path. Formulae for calculating the rolling resistance coefficient, net thrust coefficient, and drawbar-pull coefficient for the specified tractor weight limitations are presented for practical purposes. Comparison of the results of the computational experiment implementing the model for standard forestry tires and low-pressure pneumatic tires showed that, with an acceptable vehicle weight, the drawbar-pull of the pneumatic vehicle on the soil is comparable to that of a standard one, while the rolling resistance coefficient decreases by an average of 39%, and the drawbar-pull coefficient increases by an average of 43%.

**Key words:** rolling resistance coefficient, drawbar-pull coefficient, rut depth, turf layer, forestry machines, wheeled vehicles.

**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, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: m.igotti@mail.ru

**IGOTTI Marta M.** – PhD student, Department of Automation, Metrology and Management in Technical Systems, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: m.igotti@mail.ru

**АНДРОНОВ Александр Вячеславович** – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор 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.** – DSc (Technical), Associate Professor, Department of Forestry Machinery, Service and Repair, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8345-3722. ORCID: 0000-0002-1035-9231.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: andronovalexandr@gmail.com

**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, Higher School of Software Engineering, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. SPIN-code: 4663-5944. ORCID: 0000-0003-4569-9508.

195251. Politehnicheskaya str. 29. St. Petersburg. Russia. E-mail: hitrov\_eg@spbstu.ru

**ГОРЮНОВ Никита Дмитриевич** – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 7752-2049.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия.

**GORYUNOV Nikita D.** – student, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 7752-2049.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia.

**ТРИФОНОВ Никита Игоревич** – студент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 6203-4329.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия.

**TRIFONOV Nikita I.** – student, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 6203-4329.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia.

**А.В. Степанов, Е.Г. Емельянова, В.С. Сюнёв**

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПГС  
В ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЕ ПРИ ТРАНСПОРТНОМ ОСВОЕНИИ  
ЛЕСОСЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СЕВЕРА РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ**

*Введение.* Республика Карелия находится на Северо-Западе России. Одной из основных отраслей экономики республики традиционно является лесная промышленность, занимающая порядка 40%. Лесная отрасль в Карелии активно развивалась во второй половине XX века. В этот период строились целые промышленные поселки у леспромхозов, некоторые из них получили статус поселков городского типа. Активно строилась сеть лесовозных дорог разных категорий; на сегодняшний день их протяженность составляет 5097 км, что эквивалентно 39,40% от общей протяженности дорог республики [Степанов, Петров, 2014]. Несомненно, значимость лесной дорожной сети республики очевидна ввиду ее расположения вблизи высокоразвитых и стратегически важных регионов России и стран Северной Европы, наличия выхода к Белому морю, разветвленной озерно-речной системы и обилия иных природных ресурсов [Final..., 2019]. Построенные ранее лесные дороги активно используются. Однако ввиду интенсивного движения и увеличения весовых параметров подвижного состава многие транспортные пути, по сути, находятся в аварийном состоянии [Лыткин и др., 2024].

Поддержание дорог в рабочем состоянии и дальнейшее развитие транспортной сети в регионе осложняют следующие проблемы:

- географические: территория всхолмленная, имеет много озер и рек, что не позволяет прокладывать трассы с минимальным коэффициентом удлинения; климат с частыми осадками и нестабильными зимами значительно влияет на надежность дороги в целом;
- экономические: бюджет республики ограничен, и при строительстве крупных инфраструктурных проектов привлекаются средства федерального бюджета;
- демографические: отдаленность и малонаселенность территории, требует большой протяженности дорог, но при этом их экономический эффект меньше, чем в густонаселенных регионах.

Для решения вышеуказанных проблем необходимо обеспечить прочность и долговечность дорог, что, в свою очередь, приводит к необходимости использования специальных материалов, устойчивых к климатическим воздействиям и нагрузкам, а также многослойных конструкций. Все это увеличивает затраты на строительство дорог и их содержание [Мохирев и др., 2024].

Дорожная одежда воспринимает и перераспределяет нагрузку от колес транспортных средств, являясь самым нагруженным звеном в конструкции дороги. Лучшим решением для покрытий становится использование щебня, т. к. он обладает хорошими показателями на сдвигоустойчивость и практически не меняет свои характеристики при переувлажненных условиях работы [Пролыгин и др., 2022; Степанов и др., 2025]. Щебень – это искусственный материал, требующий больших затрат при производстве. Если к этому добавляются затраты на логистику, то его применение становится экономически нецелесообразным, а, следовательно, необходимо искать альтернативные варианты строительных материалов [Кабалин и др., 2023; Чудинов, 2024]. Одним из таких материалов, способных выдерживать высокие осевые нагрузки лесовозных автопоездов, являются песчано-гравийные смеси (ПГС). ПГС – природный материал, затраты на его производство отсутствуют, что с экономической точки зрения делает его более привлекательным для использования в элементах лесных автомобильных дорог [Ковалева и др., 2015].

*Цель исследования* – оценка доступности песчаных и песчано-гравийных материалов для строительства лесовозных автомобильных дорог в Республике Карелия, а также технико-экономическое обоснование целесообразности применения ПГС при строительстве лесовозных автомобильных дорог в сравнении с использованием щебня с учетом их стоимости и транспортно-логистической схемы доставки.

*Методика исследования.* В теплый период года были совершены выезды в действующие песчаные и песчано-гравийные карьеры Республики Карелия с целью отбора проб песка и песчано-гравийной смеси. Отбор проб песка и его транспортировка осуществлялись в соответствии с требованиями ГОСТ 12071-2014 и ГОСТ Р 58407.1-2020. В табл. 1 представлен перечень мест отбора проб песка и ПГС с указанием географических координат месторасположения карьеров.

На рис. 1 представлены фотографии с места сбора образцов из действующих карьеров.

Таблица 1

## Координаты действующих карьеров

## Coordinates of the existing pits

Название песчаного карьера	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)	Название карьера ПГС	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)
20 км	66.028540, 32.657811	Новософпорожское	65.819056, 31.483732
Егутварака-2	65.236036, 33.779996	Нурмолицы-1	61.095112, 32.915781
Лососинское	61.665641, 34.138086	Укса	61.589253, 31.676162
Падмозеро-2	62.531273, 35.105518	Мусталампи	62.378225, 33.891851
Тэдино ПГМ	66.506898, 32.759407	Иматозеро-1	61.856549, 33.086843
Лумбуш-5	62.929418, 34.175145	Линнунваара	62.083994, 30.739320
Мусталампи	62.377366, 33.891754	Линнунваара-2	62.082301, 30.743007
Алхо-2	61.294851, 29.751226	Пряжа-5	61.720039, 33.633381
Нурмолицы	61.094930, 32.916018	Новое-2	61.813790, 34.194638
Нива	62.651370, 33.895724	Костомукша-1	64.531753, 30.924306
Ламота-2	61.632816, 33.523249	Валкиаярви	61.779091, 31.560033
Черное	65.225983, 33.795997	Егутварака-2	65.236075, 33.780011
Шарваозеро	66.002101, 33.054631	Падас	61.932204, 34.365098
Новое-2	61.813373, 34.194606	Родин-Ярви	61.614156, 33.193713
Падас	61.932042, 34.364733	Юманишки-1	61.755796, 33.736571
Кончезеро-2	62.203499, 34.014299	Пертиярви	65.248248, 31.077804

Окончание табл. 1

Название песчаного карьера	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)	Название карьера ПГС	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)
Белая Лампи	61.724024, 33.708708	Сопоха-Кончезеро	62.214692, 34.021230
Сопоха-Кончезеро	62.213714, 34.020865	Кончезеро-2	62.204332, 34.014256
Квартал 94	61.672076, 33.604885	Керкешь	65.197491, 31.369627
Придорожное-1	61.171871, 29.801003	999 км	66.002838, 33.030632
Келиваара	61.693022, 31.448078	Лумбуш-5	62.930167, 34.175543
Пряжа-5	61.719784, 33.632930	–	–
Линнунваара	62.083956, 30.739417	–	–
Пряжинское (Южный участок)	61.711123, 33.674772	–	–
Укса	61.589125, 31.676001	–	–
Восьмерка	64.486110, 34.401811	–	–



а



б

Рис. 1. а – песчаный карьер вблизи п. Новая Вилга; б – процесс добычи песка в действующем карьере при использовании специализированной техники

Fig. 1. а – sand quarry near the village of Novaya Vilga; б – the process of sand extraction in an existing quarry using specialized equipment

При использовании песка в расчетах дорожных одежд необходимо знать группу песка: крупный, средней крупности, мелкий. Эту информацию можно получить, проведя испытания на определение зернового состава песка согласно ГОСТ 8735 -88 «Песок для строительных работ. Методы испытания» путем просушивания и последующим просеиванием (рис. 2).

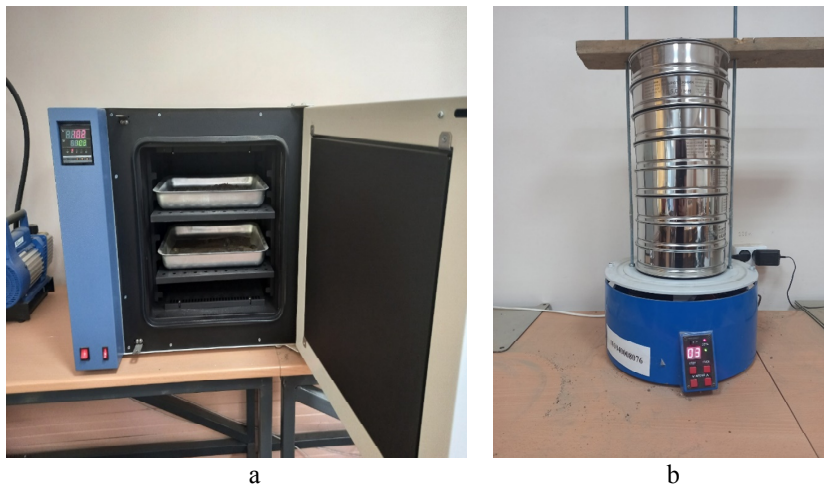


Рис. 2. Испытание образцов: (а) высушивание в сушильном шкафу; (б) просеивание

Fig. 2. Sample testing: (a) drying in a drying cabinet; (b) sieving

*Результаты исследования и обсуждение.* Результат определения зернового состава песка представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Зерновой состав песка**

**The grain composition of the sand**

№	Название карьера	Частные остатки на ситах, % по массе					
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16
1	102	10,5	23,81	43,64	11,71	4,71	5,63
2	Белая Лампи	3,21	10,44	15,74	16,34	20,96	33,3
3	101	14,84	32,56	29,67	14,53	6,25	2,15
4	Полярный	6,26	25,23	32,8	16,87	18,06	0,78

Окончание табл. 2

№	Название карьера	Частные остатки на ситах, % по массе					
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16
5	Новая Вилга	1,18	1,57	4,8	23,53	47,35	21,57
6	Алко-2	1,58	1,92	2,6	11,17	44,59	38,15
7	20 км	17,97	34,91	25,26	9,8	9,3	2,76
8	Сопоха-Кончезеро	0,17	0,56	6,19	28,86	55,6	8,62
9	Нурмолицы	4,46	10,33	16,62	37,97	21,17	9,45
10	Падас	0,17	0,43	1,73	19,39	60,73	17,55
11	Валкиярви	23,13	21,51	15,39	11,81	18,82	9,35
12	Пряжа-5	9,89	25,19	31,14	11,86	7,95	13,97
13	Керкешь	3,98	6,69	13,56	22,03	44,14	9,6
14	Квартал 94	3,31	8,96	34,25	37,5	10,84	5,13
15	Пудож	0,16	0,44	6,55	45,58	42,13	5,14
16	Восьмерка	11,09	9,55	11,58	16,7	32,78	18,31
17	Келиваара	16,06	17,5	20,16	23,05	15,64	7,61
18	Шарваозеро	4,17	8,25	28,85	35,58	15,65	7,51
19	Егутварака-2	6,37	8,02	10,42	20,02	41,52	13,65
20	Линнунваара-2	0,74	0,73	8,65	22,76	44,68	22,44
21	Пряжинское	3,47	9,24	16,7	19,4	21,93	29,26
22	103	16,9	17,6	15,43	14,76	25,56	9,75
23	104	12,16	17,44	16,35	14,18	25,69	14,18
24	Черное	1,72	5,51	9,87	35,09	45,27	2,54
25	Иматозеро	0,16	0,21	1,41	22,94	66,16	9,12
26	Кончезеро	0,13	1,29	16,46	35,06	39,77	7,3

Для характеристики песка по размеру был рассчитан модуль крупности песка  $M_k$  по формуле (1):

$$M_k = \frac{X_{2,5} + X_{1,25} + X_{0,63} + X_{0,315} + X_{0,16}}{100}, \quad (1)$$

где  $X_i$  – полные остатки на соответствующих ситах, % по массе (2).

$$X_i = x_{2,5} + x_{1,25} + \dots + x_i, \quad (2)$$

где  $x_i$  – частные остатки на соответствующих ситах, % по массе.

Значения полных остатков и модуля крупности представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Модуль крупности**

**The size module**

№	Название карьера	Полные остатки на ситах, % по массе						Модуль крупности
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16	
1	Имадозеро	0,16	0,37	1,78	24,72	90,88	100	1,18
2	Пряжинское	3,47	12,71	29,42	48,81	70,74	100	1,65
3	Кончезеро	0,13	1,42	17,88	52,93	92,7	100	1,65
4	Нурмолицы	4,46	14,79	31,41	69,38	90,55	100	2,11
5	Шарваозеро	4,17	12,42	41,26	76,84	92,49	100	2,27
6	Квартал 94	3,31	12,27	46,53	84,03	94,87	100	2,41
7	104	12,16	29,6	45,95	60,13	85,82	100	2,34
8	102	10,5	34,31	77,94	89,66	94,37	100	3,07
9	Белая Лампи	3,21	13,65	29,39	45,73	66,7	100	1,59
10	103	16,9	34,5	49,93	64,69	90,25	100	2,56
11	Черное	1,72	7,23	17,1	52,19	97,46	100	1,76
12	Пудож	0,16	0,6	7,15	52,73	94,86	100	1,56
13	Полярный	6,26	31,49	64,28	81,16	99,22	100	2,82
14	Новая Вилга	1,18	2,75	7,55	31,08	78,43	100	1,21
15	Падас	0,17	0,6	2,33	21,72	82,45	100	1,07
16	Валкиярви	23,13	44,63	60,02	71,83	90,65	100	2,9
17	Керкешь	3,98	10,67	24,23	46,26	90,4	100	1,76
18	20 км	17,97	52,88	78,14	87,94	97,24	100	3,34
19	Линнунваара-2	0,74	1,47	10,13	32,89	77,56	100	1,23
20	Пряжа-5	9,89	35,08	66,22	78,08	86,03	100	2,75
21	Восьмерка	11,09	20,64	32,22	48,92	81,69	100	1,95
22	101	14,84	47,4	77,07	91,6	97,85	100	3,29
23	Келиваара	16,06	33,55	53,71	76,76	92,39	100	2,72
24	Егутварака-2	6,37	14,39	24,81	44,83	86,35	100	1,77
25	Сопоха-Кончезеро	0,17	0,73	6,92	35,78	91,38	100	1,35
26	Алхо-2	1,58	3,5	6,1	17,27	61,85	100	0,9

Согласно п.4.3.3 ГОСТа 23735-2014 «Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия» в природной песчано-гравийной смеси содержание зерен гравия должно быть не менее 10% и не более 90% по массе. Для подтверждения факта, что взятые пробы соответствуют требованиям, предъявляемым для песчано-гравийных смесей, были проведены испытания на определение зернового состава.

Зерновой состав для ПГС определяли по ГОСТ 8269.0-97. «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

По ГОСТу сита должны соответствовать номинальным размерам зерен испытываемой фракции: 1,25Д; Д; 0,5 (Д+d); d, а также 2,5 и 1,25 мм, где Д – это максимальный размер, мм; d – минимальный размер, мм. Для отсева фракций от 5(3) до 20 мм применяли сито с размером отверстий 10 мм.

Также мы добавили сита 0,63 мм и 0,16 мм для получения большей информации для дальнейших исследований. Результат отсева пробы по фракциям и процесс взвешивания каждой из них показаны на рис. 3.

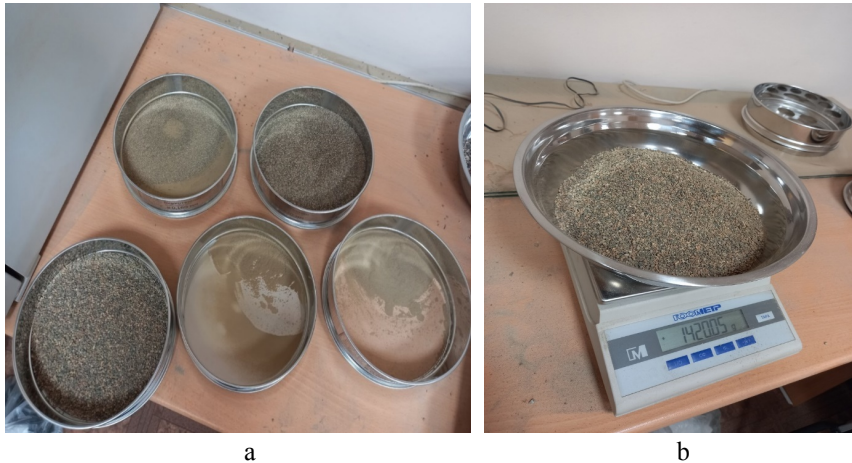


Рис. 3. (а) Рассев на ситах; (б) взвешивание остатка  
Fig. 3. (a) Sieving on sieves; (b) weighing the remainder

По результатам просеивания определили частные остатки на каждом сите путем взвешивания.

Результаты испытания представлены в табл. 4.

Таблица 4

## Зерновой состав ПГС

## Grain composition

№	Название	Наиболее крупное зерно	Частные остатки на ситах, % по массе								
			1,25Д	Д	0,5(Д+d)	d	2,5	1,25	0,63	0,16	< 0,16
1	Новософпорожское-2	70	0	0	9,03	3,3	56,58	20,21	7,79	2,46	0,62
2	999 км	70	0	0	8,61	2,92	51,18	10,35	7,39	12,75	6,81
3	Родин-Ярви	40	0	0	14,03	1,19	26,17	27,16	18,69	11,64	1,13
4	Сопоха-Кончезеро	10	0	0	13,51	0,37	0,55	0,74	31,02	47,63	5,83
5	Юманишки-1	40	0	0	9,89	2,79	29,56	40,13	8,41	8,65	0,57
6	Юманишки-2	40	0	1,1	14,54	2,3	16,04	34,6	24,18	7,9	0,43
7	Пряжа-5	20	0	0	14,45	3,35	13,73	27,53	13,11	19,26	8,58
8	Полярный	40	0	0	15,02	0,73	8,96	16,43	29,73	28,68	0,82
9	Валкиярви	20	0	0	11,13	1,53	23,21	21,53	14,61	19,66	8,32
10	Нурмолицы-1	40	0	0	10,24	3,13	4,88	9,03	18,42	36,11	18,2
11	Линнунваара-2	20	0	0	12,08	3,08	0,79	0,63	4,89	35,72	42,82
12	Новософпорожское	40	0	0	11,77	2,11	19,92	20,77	25,17	20,41	0,99
13	Машезерский	70	0	0	12,94	10,31	35,33	9,74	9,52	18,43	3,73
14	Имагозеро-1	10	0	0	10,63	0,61	0,23	0,3	1,59	76,07	11,58
15	Квартал 94	40	0	2,95	10,47	1,46	11,97	13,43	21,36	20,29	21,01
16	Новая Вилга-2	40	0	3,03	9,73	3,11	22,79	13,79	12,21	33,98	4,4
17	Тэдино	70	0	0	8,11	2,73	46,7	4,88	8,68	25,86	3,05
18	59 квартал	40	0	2,45	11,81	4,24	25,41	12,03	16,58	21,04	8,92
19	Падас	10	0	0,54	14,98	0,6	0,2	0,34	1,41	65,98	17,33
20	Керкешь	70	0	0	10,38	3,47	11,84	4,3	5,32	44,19	20,49
21	Егутварака-2	40	0	0	0	12,99	34,83	7,89	9,22	23,06	12,01

Как видно из полученных результатов, каждая проба соответствует требованиям природной песчано-гравийной смеси.

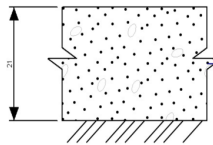
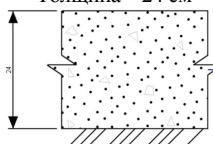
Для объективного сравнения использования щебня и гравийных смесей был сделан расчет несущей способности конструкции дорожной одежды при равных условиях расположения дороги и нагрузки. Расчет сделан по нововведенной методике согласно ГОСТР 71244-2024 «Дороги автомобильные с низкой интенсивностью движения. Дорожная одежда.

Конструирование и расчет», который распространяется на дорожные одежды переходного и низшего типов автомобильных дорог. Расчеты выполняли в программном комплексе Индорсофт «IndorPavement: Расчет дорожных одежд». Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Результаты расчета дорожных одежд**

**Calculation results of road clothes**

№ варианта	Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль деформации на поверхности слоев, МПа	Модуль деформации, МПа
Вариант №1	Конструктивный слой №1 – смеси гравийные с непрерывной гранулометрией 22,5 мм (для покрытий)	<p>Толщина – 21 см</p> 	$E_{общ}=31$	$E_d=80$ $K_{тр}=1,000$ $K_{расч}=1,000$ Запас=0%
	Грунт земляного полотна – Супесь легкая крупная		$E_{общ}=15$	$E_d=15$
Вариант №2	Конструктивный слой №1 – смеси щебеночные с непрерывной гранулометрией 22,5 мм (для покрытий)	<p>Толщина – 24 см</p> 	$E_{общ}=32$	$E_d=70$ $K_{тр}=1,000$ $K_{расч}=1,020$ Запас=2%
	Грунт земляного полотна – Супесь легкая крупная		$E_{общ}=15$	$E_d=15$

Отсюда требуемое количество материала на 1 км дороги будет рассчитываться по формуле (3):

$$V_{щ} = B * H * L * K_{з\ddot{y}}, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина дороги по верху, м;  $H$  – толщина слоя, м;  $L$  – длина участка, м;  $K_{з\ddot{y}}$  – коэффициент запаса на уплотнение.

Объем щебня равен 2448 м<sup>3</sup>, объем ПГС – 2142 м<sup>3</sup>.

Оценка технико-экономической эффективности производилась путем расчета и сравнения сметной стоимости материалов при строительстве в зависимости от транспортно-логистической схемы их доставки.

Районы Республики Карелия делятся на две ценовые зоны: 1-я зона – районы, приравненные к районам Крайнего Севера; 2-я зона – районы Крайнего Севера.

Объект строительства находится в Муезерском районе Республики Карелия (1-я ценовая зона). Ближайший карьер по добыче щебня распола-

гается в г. Медвежьегорске. При расчете среднее расстояние возки дорожно-строительного материала от места производства до места строительства дорожной одежды составляет 288 км по следующим типам дорог: 232 км – усовершенствованное (асфальтобетонное) дорожное покрытие, 56 км – переходное (гравийное) дорожное покрытие. Перевозка осуществляется бортовыми автомобилями грузоподъемностью до 20 тонн. Класс груза – 1.

Ближайший карьер по добыче ПГС находится в Муезерском районе на расстоянии не более 20 км от места строительства. В данном случае затраты на перевозку данного материала не учитываются, так как в сметной стоимости материала уже учтены затраты на транспортировку до 30 км согласно п. 63 приказа Минстроя России №421.

Расчет сметной стоимости производится ресурсно-индексным методом с применением федеральной сметно-нормативной базы ФСНБ–2022 в соответствии с Методикой определения сметной стоимости строительства.

Стоимость материалов для расчета взята из сплит-формы федеральной государственной информационной базы ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС). При расчетах приняты следующие стоимости дорожно-строительных материалов в уровне цен на 4 квартал 2024 г.:

- смесь щебеночная, щебень из плотных горных пород М1200, (код ресурса 02.2.04.04 – 0123) – 1414,86 рублей (без НДС);
- смесь песчано-гравийная обогащенная с содержанием гравия 50–65% (код ресурса 02.2.04.03 – 0014) – 1121,98 рублей (без НДС).

Ранее проведенные расчеты показали, что для строительства 1 км лесовозной автомобильной дороги требуется: щебня – 2448 м<sup>3</sup>; ПГС – 2142 м<sup>3</sup>. Следовательно, стоимость материалов на весь объем составит: щебня – 3 463 577,3 рублей (1414,86x2448); ПГС – 2 403 281,16 рублей (1121,98x2142).

Для расчета стоимости перевозки грузов использовались расценки, взятые из сплит-формы ФГИС ЦС:

- при перевозке груза 1 класса по асфальтобетонному дорожному покрытию на расстояние 202 км – 1262,21 рублей за 1 тонну (код перевозки 01-20-1-01-0203);
- при перевозке груза 1 класса по гравийному дорожному покрытию на расстояние 56 км – 783,39 рублей за 1 тонну (код перевозки 01-20-1-02-0056).

Насыпная плотность гранитного щебня 20-40 – 1,38 т/м<sup>3</sup>. Для дальнейшего расчета стоимости перевозки материала принимаем массу перевозки щебня равной 3378 тонн.

Используя принятую методику по расчету затрат на транспортировку груза получаем, что стоимость перевозки щебня по асфальтобетонному покрытию составила 3 325 721,4 рублей, стоимость перевозки щебня по гравийному дорожному покрытию – 582 183,6 рублей. Общие затраты на перевозку щебня от поставщика до места строительства составляют 3 907 905 рублей.

Таким образом, сметная стоимость щебня и затраты на его перевозку до объекта строительства на 1 км дороги составляют 7 371 482,3 рублей.

Если для строительства лесовозных автомобильных дорог использовать местную песчано-гравийную смесь, то сметная стоимость материала на 1 км дороги составляет 2 403 281,16 рублей. Следовательно, применяя песчано-гравийную смесь, можно сэкономить за счет стоимости материала на 1 км строительства лесовозных автомобильных дорог около 5 млн рублей.

Результаты исследования показали, что на стоимость строительства дорожной одежды лесовозных автомобильных дорог в значительной степени влияет транспортно-логистическая схема доставки материалов: с увеличением дальности перевозки стоимость устройства дорожной одежды из щебня возрастает, чего нельзя сказать о стоимости устройства дорожной одежды из песчано-гравийной смеси.

Исследуя стоимость материалов при строительстве 1 км равнопрочных конструкций дорожных одежд лесовозной автомобильной дороги для 2-й ценовой зоны, мы также использовали данные сметной стоимости материалов из сплит-формы ФГИС ЦС на 4 кв. 2024 г. Предположительно, объект строительства находится в Калевальском районе Республики Карелия.

Для 2-й ценовой зоны стоимость 1 м<sup>3</sup> щебня составляет 1476,25 рублей, 1 м<sup>3</sup> ПГС – 4467,49 рублей. Столь высокая цена ПГС объясняется применением индекса изменения сметной стоимости к группе однородных строительных ресурсов, который составил 2,19 к цене 1 м<sup>3</sup> ПГС на 01.01.2022 г. Следовательно, для нашего объема строительства стоимость материалов составляет: щебня – 3 613 860 рублей; песчано-гравийной смеси – 9 569 363 рублей.

Особенность расчета сметной стоимости материалов для 2-й ценовой зоны заключается в том, что в ней уже учтены транспортные затраты, независимо от расстояния перевозки. Следовательно, при расчете сметной стоимости строительства объекта затраты на перевозку строительных материалов в смете дополнительно не рассчитываются. Данный пример свидетельствует, что экономически целесообразно применять в качестве дорожной одежды щебень.

Проведенные исследования показали, что строительство дорог в 1-й ценовой зоне целесообразно выполнять с применением ПГС. Для 2-й ценовой зоны при выборе строительного материала необходимо предварительно проводить мониторинг цен.

*Заключение.* На основе выполненного исследования мы делаем следующие выводы:

1. Установлено, что Республика Карелия имеет относительно равномерное распространение песчаных и песчано-гравийных карьеров по всей территории;

2. Все пробы песка и песчано-гравийных смесей, взятые с 26 основных карьеров республики, соответствуют ГОСТ 23735-2014 «Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия»;

3. Выполненный расчет несущей способности конструкции дорожной одежды по методике, введённой ГОСТР 71244-2024 от 01.03.2024 г., не учитывает критерии на сдвигустойчивость, статическую нагрузку и изгиб, а ключевым показателем при расчетах является модуль деформации, а не модуль упругости, как в других методиках. Эти особенности практически уравнивали между собой расчетные характеристики материалов ПГС и щебня. При расчете объемов материалов на 1 км щебня нужно на 306 м<sup>3</sup> больше;

4. Проведенная оценка технико-экономической эффективности путем расчета и сравнения сметной стоимости материалов при строительстве в зависимости от транспортно-логистической схемы их доставки позволила увидеть выгодную разницу в размере 4927295,04 рублей с 1 км дороги при использовании ПГС для 1-й ценовой зоны. Для 2-й ценовой зоны, т.е. районов Крайнего Севера, из-за изменений в методике ценообразования щебень выгоднее ПГС на 5955503 рубля.

*Вклад авторов.* Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи.

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

### **Библиографический список**

*Кабалин М.Д., Замуруев А.В., Курлыккина А.В., Кузнецов Д.А.* Теоретические аспекты укрепления грунта в дорожном строительстве // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. № 3 (33). С. 64–74.

*Ковалева Н.В., Катаров В.К., Сютёв В.С.* Обеспечение прочностных характеристик дорожной конструкции при строительстве лесных дорог по технологии «из канав» // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. №43. С.153–155.

Лыткин А.А., Долгих Г.В., Пролыгин А.С. Пути увеличения межремонтных сроков службы автомобильных дорог // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2024. № 2 (96). С. 290-313. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-2-290-313.

Мохирев А.П., Серватинский В.В., Дудин П.О., Сорокина М.Н., Мохирев И.А., Соколова А.Р. Анализ факторов, влияющих на несущую способность автомобильной дороги с покрытием капитального типа // Resources and Technology. 2024. Т. 21, №2. С. 114–128. DOI: 10.15393/j2.art.2024.7823.

Пролыгин А.С., Александров А.С., Долгих Г.В. Модуль деформации грунтощебеночной смеси для проектирования дорожных одежд // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сб. мат. V нац. науч.-практ. конф. Омск, 2022. С. 414-422.

Степанов А.В., Петров А.Н. Анализ сети лесовозных дорог республики Карелия // Ученые записки ПетрГУ. 2014. Т.2, №8(145). С. 78–81.

Степанов А.В., Винокурова Т.Г., Катаров В.К., Симонова И.В., Сюнёв В.С. Каменные дорожно-строительные материалы Республики Карелия: география размещения и возможности применения на лесных дорогах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2025. №2 (66). С.97-107. DOI: 10.25686/2306-2827.2025.2.97.

Чудинов С.А. Оценка технико-экономической эффективности строительства лесовозных автомобильных дорог из фиброцементагрунта // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 230–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.230-243.

Final report on the project KA1029 “Innovations, research and education for roads and transport as an engine for growing cross-border business cooperation” (IRERT). Petrozavodsk, 2019. 86p.

## References

Chudinov S.A. Assessment of the technical and economic efficiency of construction of logging roads from fiber cement soil. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 230–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.230-243. (In Russ.)

Final report on the project KA1029 “Innovations, research and education for roads and transport as an engine for growing cross-border business cooperation” (IRERT). Petrozavodsk, 2019. 86p.

Kabalin M.D., Zamuruev A.V., Kurlykina A.V., Kuznecov D.A. Theoretical aspects of soil strengthening in road construction. *Bulletin of GSTOU. Technical Sciences*, 2023, no. 3 (33), pp. 64-74. (In Russ.)

Kovaleva N.V., Katarov V. K., Syunev V. S. Ensuring the strength characteristics of the road structure during the construction of forest roads using the “from ditches” technology. *Actual problems of the forest complex*, 2015, no. 43, pp.153–155. (In Russ.)

*Lytkin A.A., Dolgikh G.V., Prolygin A.S.* Ways to increase the inter-maintenance period of roads. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2024, no. 2 (96), pp. 290-313. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-2-290-313. (In Russ.)

*Mokhirev A.P., Servatinskiy V.V., Dudin P.O., Sorokina M.N., Mokhirev I.A., Sokolova A.R.* Analysis of factors affecting the bearing capacity of a paved highway. *Resources and Technology*, 2024, vol. 21, no. 2, pp. 114-128. DOI: 10.15393/j2.art.2024.7823. (In Russ.)

*Prolygin A.S., Aleksandrov A.S., Dolgikh G.V.* Soil crushed stone deformation module for road design. *Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitelstvo*: collection of mat. of V nat. sci.-pract. conf. Omsk, 2022, pp. 414-422. (In Russ.)

*Stepanov A.V., Petrov A.N.* Analysis of the network of logging roads of the Republic of Karelia. *Uchenye zapiski PetrGU*, 2014, vol. 2, no. 8(145), pp. 78-81. (In Russ.)

*Stepanov A.V., Vinokurova T.G., Katarov V.K., Simonova I.V., Syunyov V.S.* Stone road-building materials of the Republic of Karelia: geographical location and application possibilities on forest roads. *Bulletin of the Volga State Technological University. The series "Forest. Ecology. Environmental management"*, 2025, no. 2(66), pp. 97-107. DOI: 10.25686/2306-2827.2025.2.97. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 05.03.2025*

---

**Степанов А.В., Емельянова Е.Г., Сюнёв В.С.** Техничко-экономическое обоснование целесообразности применения ПГС в дорожной одежде при транспортном освоении лесосырьевой базы севера республики Карелия // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 274–290.* DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.274-290

Дефекты и неровности дорожного покрытия снижают скорость перевозки лесного сырья на 30-35%, повышая стоимость транспортировки на 50–60%. На участках с низкой несущей способностью грунтов, в подавляющем большинстве характерных для Республики Карелия, эта проблема усугубляется наличием повышенного уровня грунтовых вод и, как следствие, пучин и просадок дорожного полотна. Снижение вероятности возникновения подобных дефектов возможно за счет применения местных каменных материалов. Таким материалом для Республики Карелия является песчано-гравийная смесь (ПГС), получаемая в своем природном состоянии. Технология строительства лесовозных дорог с применением гравийных смесей требует изучения на соответствие нормам в действующих и потенциальных карьерах, анализа размещения мест добычи, возможности доставки ПГС для строительства и ремонта лесных дорог. В статье выполнен анализ географии размещения мест добычи песка и песчано-гравийной смеси в Республике Карелия, приведены результаты исследования их качественных свойств, сделана оценка технико-

экономической эффективности путем расчета и сравнения сметной стоимости щебня и ПГС при строительстве в зависимости от транспортно-логистической схемы их доставки.

Ключевые слова: лесовозные дороги, дорожно-строительные материалы, песчано-гравийная смесь, щебень.

**Stepanov A.V., Emelyanova E.G., Syunev V.S.** Feasibility study of the feasibility of using sand and gravel mixture in road surfaces during transport development of the timber resource base in the north of the Republic of Karelia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoi Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 274–290 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.274-290

Defects and unevenness of the road surface reduces the speed of transportation of forest raw materials by 30-35%, increasing the cost of transportation by 50-60%. In areas with low bearing capacity of soils, which are overwhelmingly typical for the Republic of Karelia, this problem is aggravated by the presence of elevated groundwater levels and, as a result, deepens and subsidence of the roadway. Reducing the likelihood of such defects is possible when using local stone materials. Such a material for the Republic of Karelia is a sand-gravel mixture (SGM) obtained in its natural state. The technology of construction of logging roads using gravel mixes requires studying it for compliance with standards in existing and potential quarries, analyzing the location of mining sites, and the possibility of delivering it for the construction and repair of forest roads. The article analyzes the geography of the location of sand and sand-gravel mixture extraction sites in the Republic of Karelia, presents the results of a study of its qualitative properties, evaluates the technical and economic efficiency by calculating and comparing the estimated cost of crushed stone and SGM during construction, depending on the transport and logistics scheme of their delivery.

Keywords: logging roads, road-building materials, sand-gravel mixture, crushed stone.

---

**СТЕПАНОВ Артем Валерьевич** – заведующий кафедрой технологии и организации строительства Петрозаводского государственного университета, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0003-4495-6883. SPIN-код: 4044-9511.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: stepanov@petsu.ru

**STEPANOV Artem V.** – PhD (Technical), Head of the Department of Technology and Organization of Construction, Petrozavodsk State University, Associate Professor. ORCID: 0000-0003-4495-6883. SPIN-code: 4044-9511.

185910. Lenina av. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: stepanov@petsu.ru

**ЕМЕЛЬЯНОВА Елена Геннадьевна** – доцент кафедры технологии и организации строительства Петрозаводского государственного университета, кандидат экономических наук. SPIN-код: 9664-0635.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: zhenemel@mail.ru

**EMELIANOVA Elena G.** – PhD (Economical), Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction, Petrozavodsk State University. SPIN-code: 9664-0635.

185910. Lenina av. 33. Petrozavodsk Russia. E-mail: zhenemel@mail.ru

**СЮНЁВ Владимир Сергеевич** – профессор Петрозаводского государственного университета, доктор технических наук. ORCID: 0000-0002-2558-2671. SPIN-код: 4088-7343.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: siounev@petsu.ru

**SYUNEV Vladimir S.** – DSc (Technical), Professor, Petrozavodsk State University. ORCID: 0000-0002-2558-2671. SPIN-code: 4088-7343.

185910. Lenina av. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: siounev@petsu.ru

**А.П. Митченко**

## **СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ ШТАБЕЛЯ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ, УЛОЖЕННОГО МЕЖДУ СТОЙКАМИ**

*Введение.* В лесозаготовительной и лесоперерабатывающей отраслях лесного хозяйства, осуществляющих сортиментную заготовку и использующих для переработки круглые лесоматериалы (бревна), измерение последних осуществляется различными способами. К области наименее затратного традиционного измерения относится групповой (геометрический) метод измерения объема круглых лесоматериалов, уложенных в штабель.

Штабели лесоматериалов могут быть уложены «на земле»:

- без боковых ограничителей, когда их концевые части выкладываются с учетом угла естественного рассыпания;
- с наличием запирающих их «замков» из пар бревен, вставленных в штабель на нескольких уровнях по высоте поперек его ширины, каждое вблизи от его торцов;
- боковыми стойками для удержания бревен от раскатывания.

Штабели могут быть уложены в металлические стойки, установленные на железнодорожных платформах и автомобилях, в полувагоны с вертикальной оторцовкой деревянными стойками или боковыми стенками, а также в спаренные металлические стойки, которые установлены на земле.

Для вычисления складочного и далее плотного объема штабеля бревен, погруженного на железнодорожный или автомобильный транспорт, важно как можно более точно измерить его геометрические параметры, в том числе ширину штабеля. Плотные объемы, определенные поставщиком при отгрузке и получателем при приемке, обязаны соответствовать нормам допускаемых погрешностей измерения объема партии сортимента групповым методом, а также отвечать нормам воспроизводимости результатов измерений объема партии сортимента при повторном учете. Такие нормы указаны в Приложении 1 и Приложении 2 норматива «О порядке определения характеристик древесины и учета древесины», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021 г. № 2128.

*Цель исследования.* В настоящей статье предлагается к рассмотрению и подробно описывается способ практического измерения и последующих расчетов, предназначенных для определения ширины штабеля круглых лесоматериалов, огражденного стойками на железнодорожном и автомобильном транспорте, вертикально оторцованного боковыми стенками полувагона или уложенного между стойками, установленными на земле. При использовании данного способа можно достоверно рассчитывать среднюю ширину штабеля круглых лесоматериалов, учитывая его индивидуальные параметры.

Принцип измерения ширины штабеля, уложенного между парой стоек, заключается:

- в определении среднего арифметического значения ширины одной трапеции, образующей поперечное сечение штабеля, уложенного между ограждающими его стойками;
- в определении среднего арифметического взвешенного значения ширины (средних линий) двух и более трапеций от их высоты, образующих поперечное сечение штабеля между ограждающими его стойками (учитывающее наклон стоек, их сложные профили и ребра жесткости).

Для определения средней ширины штабеля измерению подлежат не менее двух поперечных сечений штабеля, образованных парами стоек, на которые он опирается. Средняя ширина штабеля вычисляется, как среднее арифметическое значение ширин, образованных двумя парами крайних стоек, ближайших к торцевым сторонам штабеля, на которые опирается штабель.

В целях наглядности, места измерений для расчета ширины поперечного сечения штабеля для двух видов профилей (а также их множества) иллюстрированы. Приведены формулы расчета средневзвешенных ширин двух видов профиля, а также формула расчета ширины штабеля, состоящего из множества трапеций. Способ определения средневзвешенной ширины штабеля, уложенного между стойками, учитывает не только различные виды поперечного профиля штабеля, но и учитывает вероятность их изменения в случае, если гибкие стойки под весом лесоматериалов в загруженном состоянии будут расходиться. Описанный способ дает возможность при использовании группового (геометрического) метода определять складочный и плотный объемы штабеля круглых лесоматериалов с высокой точностью.

Описанный способ измерения ширины штабеля разработан в рамках АО «Шмидт энд Олофсон» для осуществления экспертизы лесоматериалов по объему и качеству и применяется в процессе определения плотного объема штабелей групповым (геометрическим) методом измерения

*Материалы и методика исследования.* Складочный объем штабеля – объем, занимаемый штабелем круглых лесоматериалов в пределах своего габарита (ширины, высоты и длины), включающий древесину, пустоты и кору. Складочный объем штабеля определяется в метрах кубических ( $m^3$ ) путем перемножения ширины ( $B$ ), высоты ( $H$ ), и длины ( $L$ ) штабеля.

Плотный объем штабеля – это объем круглых лесоматериалов без коры (для деловых сортиментов) или объем древесины с корой (для дров). Для расчета плотного объема штабеля его складочный объем умножается на коэффициент полндревесности. Плотный объем штабеля круглых лесоматериалов, измеренного групповым (геометрическим) методом, определяется в метрах кубических ( $m^3$ ), округляется до сотой доли целого числа (второго знака после запятой) и вычисляется по формуле (1):

$$V = B \cdot H \cdot L \cdot K, \quad (1)$$

где  $V$  – плотный объем,  $m^3$ ;  $B$  – ширина штабеля, м;  $H$  – высота штабеля без подкладок и прокладок, м;  $L$  – длина штабеля, м;  $K$  – коэффициент полндревесности штабеля.

По настоящий момент подробное описание измерения ширины штабеля, уложенного в стойки, во многих литературных источниках отсутствует. Часто даются описания без разъяснения практических путей их применения. Упоминаемые способы измерения не отвечают требованиям точности.

В ранней профессиональной литературе [Анучин, 1982] в отношении геометрического способа измерения объема рассматриваются только поленицы, ограниченные кольями и клетками. При этом расстояние между ними рассматривается как длина, а шириной поленицы является длина поленьев. Не рассматриваются способы измерения длины поленицы, как и ширины штабеля, уложенного между стойками на транспортную единицу. В целом геометрическому способу учета объема штабелей древесины дается отрицательная оценка. Такой подход не соответствует современной практике применения группового (геометрического) метода определения объема круглых лесоматериалов, который массово используется в РФ.

В ОСТ 13-43-79 Е «Лесоматериалы круглые. Геометрический метод определения объема и оценка качества лесоматериалов, погруженных в вагоны и на автомобили» указаны стандартные размеры ширин штабелей, огражденных боковыми стойками, для полувагонов и платформ. Также указано, что «В случае изменения ширины штабеля вследствие деформации бортов полувагона или стоек платформы, при использовании платформ и полувагонов с шириной, отличающейся от указанной выше, а также для штабелей, погруженных на автомобиль, ширину измеряют по расстоянию между стойками

(бортами) на высоте, равной половине габаритной высоты штабеля». Правила округления измеренной (рассчитанной) ширины не указаны. Такой подход к измерению ширин штабелей, огражденных стойками, дает результаты, не отражающие фактическую среднюю ширину штабеля, что ведет к высокой погрешности в результатах их измерения. В свою очередь, это существенно влияет на рассчитываемые объемы штабеля лесоматериалов. Так, в зависимости от размера (ширины и высоты) ребер жесткости в виде усиливающих косынок, укрепляющих стык стойки с нижней поперечной балкой, как на железнодорожных платформах (рис. 1), так и на автомобилях ширина между стойками, измеренная на середине высоты штабеля, может отличаться в большую сторону от ширины, рассчитанной с учетом сужения штабеля по всей высоте ребер жесткости, на величины от 0,01 м до 0,07-0,11 м (в некоторых случаях на большие величины, в зависимости от размера ребра жесткости).

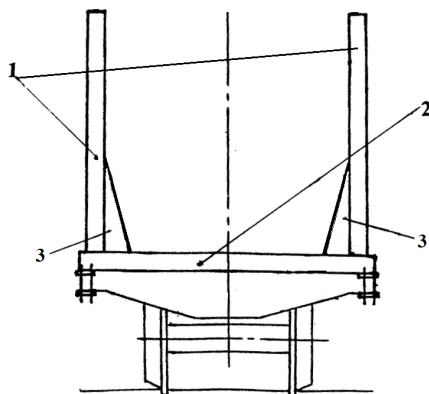


Рис. 1. Схема поперечного сечения железнодорожной платформы со стойками, ограждающими штабель круглых лесоматериалов (1 – стойки, ограждающие штабель круглых лесоматериалов; 2 – поперечная балка, к которой крепятся стойки; 3 – ребра жесткости в виде косынок, усиливающих крепление стоек)

Fig. 1. Cross-section diagram of a railway platform with posts enclosing a stack of round timber (1 – posts enclosing a stack of round timber; 2 – cross-beam to which the posts are attached; 3 – stiffeners in the form of gussets that reinforce the posts)

В п.п 6.2 «Групповой метод определения объема бревен в штабеле, сформированном на железнодорожном и автомобильном транспорте» ГОСТ 32594-2013 «Лесоматериалы круглые. Методы измерений» указано: «Ширину штабеля В принимают равной внутреннему расстоянию между стойками, ограждающими штабель. Расстояние между стойками измеряют на уровне бортов полувагона или по верху стоек других транспортных средств». Для полувагонов данное указание приемлемо, поскольку иное измерение ширины, с практической точки зрения, невозможно, трудновыполнимо или имеет высокую погрешность. При выгрузке штабелей стропами стойки зачастую вынимаются из полувагона вместе со штабелем за счет удержания верхним обвязочным поясом, скрепляющим противоположные стойки под «шапкой», выдергивания из проволочной увязки, которой крепятся к стоечным скобам, или ее разрыва. Ширина, которую можно измерить между оставшимися в полувагоне стойками при стропной выгрузке или выгрузке манипулятором, небезопасна, осложнена технически или из-за деформации деревянных стоек, смещения их от изначального положения относительно бортов не соответствует той ширине, которая была между ними до выгрузки штабеля. Следует учитывать, что при измерении ширины штабеля по ГОСТ 32594-2013 на уровне борта происходит некоторое уменьшение ее фактического значения. В соответствии с требованиями норматива «Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах», утвержденного МПС РФ 27.05.2003 N ЦМ-943 (с изм. от 23.10.2017 г.), толщина стоек из круглого лесоматериала должна быть не менее 90 мм в верхнем отрубе и, как правило, устанавливается верхним отрубом вниз. На уровне верхнего обвязочного пояса (уровне борта полувагона) толщина больше и должна быть не менее 100 мм. Поскольку стойка возвышается над бортом в зависимости от габарита полувагона от 1/3 до 3/5 высоты борта, ширина, измеряемая на уровне борта, имеет тенденцию давать значения ниже фактических средних значений за счет сбегания деревянной стойки. Измерение ширины штабеля по верху стоек «других транспортных средств» ведет к завышению ширины штабеля, связанному с наличием в нижней части стоек ребер жесткости. Такое завышение может усугубляться наличием гибких стоек, которые могут существенно расходиться по верху при измерении расстояния между ними в загруженном состоянии. Если ширина между гибкими стойками измеряется в порожнем состоянии, то она может быть занижена, поскольку после выгрузки лесоматериалов гибкие стойки могут сходиться. Предлагаемый в данной литературе способ измерения ширины не учитывает сложные поперечные профили штабелей, уложенных между стойками, и состояние стоек в загруженном и порожнем состоянии. По рекомендации АО «Шмидт энд Олофсон»

(член ТК 078 по стандартизации «Лесоматериалы» за № 28 – приказ Росстандарта № 1808 от 06.08.2024 г.) для устранения указанных недостатков описываемый способ измерения ширины штабеля включен в ГОСТ 32594-2025 «Лесоматериалы круглые Методы определения объема», которым 01.07.2026 г. будет заменен ГОСТ 32594-2013.

Также в литературе<sup>1,2</sup>[Уголев, 2004] описывают измерение ширины штабеля в стойках с помощью метода «полного ящика». Условные (визуальные) вертикальные стенки «ящика» располагают так, чтобы бревна или их части, выступающие за стенки «ящика», могли бы визуально разместиться в пустотах внутри «ящика», между его стенками и остальными бревнами штабеля. В Инструкции VMR 1/98 (сноска 1) также указано, что «Измерение высоты и ширины штабеля на лесовозе может быть ограничено одним измерением, так называемым односторонним измерением». Дальнейшие разъяснения не приведены, а на рисунке указана ширина по низу и по верху штабеля.

Правило «полного ящика» для измерения ширины штабеля в вагонах и автомобилях также описано в СТО 358-3-2006 «Круглые лесоматериалы, импортируемые в Финляндию. Штабельный метод определения объема» (Стандарт Ассоциации лесной промышленности Финляндии, введен в действие с 01.01.2007 г.). У каждого торца штабеля отмечают положение двух вертикальных линий, касающихся выровненных боковых сторон штабеля; не вертикальные или не прямолинейные стойки также визуально выравнивают; ширину штабеля измеряют между двумя метками вертикальных линий с каждого торца штабеля, и средняя ширина округляется до 0,05 м.

Все описанные в литературе способы определения методом «полного ящика» ширины штабеля, уложенного между стойками транспортных единиц (оторцованного боковыми стенками полувагона) или стойками, которые установлены на земле, дают высокую погрешность и зависят от множества случайных величин:

- глазомера человека, осуществляющего подобное измерение, наличия близлежащих горизонтальных и вертикальных линий, на которые он ориентируется, визуально выстраивая две вертикальные стенки «полного ящика»;
- таких пороков древесины, как закомелистость, корневые лапы, сбежистость, которые, выходя за внутренние габариты стоек, создают видимость большей ширины штабеля;

---

<sup>1</sup> Инструкции по измерениям круглых лесоматериалов. Швеция. VMR 1/98 / Совет по измерениям лесоматериалов. Лесэксперт, 1999. 41 с.

<sup>2</sup> Рекомендации по сортиментации и учету древесины. М.: Лесэксперт, 2015. 66 с.

- укладки лесоматериалов в штабель с пересечением осей бревен, когда часть бревен, выходя за внутренние габариты стоек или не касаясь его, создает видимость большей или меньшей ширины штабеля;

- визуального заполнения пустот внутри вертикальных стенок «ящика» частями бревен, выступающими за его стенки, вследствие чего искусственно завышается коэффициент полндревесности штабеля бревен, которые уже находятся внутри габарита стоек. Это влияет на определение плотного объема штабеля;

- при стандартной высоте стоек шоссейного лесовоза 2,60 м, номинальной длине лесоматериалов 6,0 м и усредненном коэффициенте полндревесности 0,57, погрешность 0,01 м в ширине дает разницу 0,09 м<sup>3</sup> в плотном объеме, а при округлении ширины до 0,05 м объем может варьировать на 0,26 м<sup>3</sup> (при округлении вниз ширины на 0,029 м).

Резюмируя результаты общего обзора литературы, можно отметить следующие недостатки предлагаемых способов измерения ширины штабелей, уложенных между стойками:

- не учитывается наличие сложных профилей поперечного сечения штабелей, уложенных между стойками; наличие на стойках ребер жесткости в виде усиливающих косынок, укрепляющих стыки стоек с нижней поперечной балкой; деформаций стоек в результате погрузочно-разгрузочных работ и изменения их конфигурации вследствие ремонта;

- не учитывается расширение гибких стоек при укладке в них лесоматериалов и сужении их в результате выгрузки;

- визуализация условных вертикальных стенок методом «полного ящика» ведет к высокой погрешности измерений, на которые влияют наличие пороков древесины, способ укладки лесоматериалов в штабель и иные факторы. Опосредованно, данный способ влияет на определение коэффициента полндревесности;

- правила округления рассчитываемых ширин или не указаны, или ведут к большим погрешностям в определении складочного и плотного объемов лесоматериалов;

- предлагаемые способы определения ширин штабелей, уложенных между стойками, существенно понижают точность определения складочного и плотного объемов лесоматериалов.

*Результаты исследования.* Результатом предлагаемого изобретения является способ измерения ширины штабеля круглых лесоматериалов, уложенного между стойками на железнодорожном или автомобильном

транспорте, вертикально оторцованного боковыми стенками полувагона, а также уложенного в стойки, которые установлены на земле, точно учитывающий сложные профили поперечного сечения штабелей и их изменение под влиянием массы помещенных в них лесоматериалов. Также описана методика применения описываемого способа, последовательность ее выполнения в общем и частном случаях, даны рекомендации дальнейшего применения полученных величин.

В основе способа измерения ширины лежит следующее. Поперечное сечение штабеля лесоматериалов, уложенного между стойками (или вертикально оторцованного боковыми стенками полувагона), рассматривается как одна трапеция или совокупность двух или более трапеций, расположенных друг над другом. При расходящихся друг от друга к своим вершинам стойках трапеции обращены верхними, меньшими, основаниями вниз, при сходящихся – снизу имеют большее основание, а сверху меньшее. Трапеции взаимно примыкают друг к другу таким образом, что верхнее основание одной трапеции является нижним основанием вышерасположенной трапеции. Основанием первой нижней трапеции является поперечная балка, соединяющая стойки, ограждающие штабель, верхней – горизонтальный отрезок, соединяющий внутренние боковые поверхности стоек на их вершинах или по верху штабеля, а боковыми сторонами являются отрезки этих стоек.

Средней шириной штабеля, огражденного стойками, является:

- при поперечном сечении штабеля, состоящем из одной трапеции – среднее арифметическое значение ширины (средней линии) трапеции;
- при поперечном сечении штабеля, состоящем из двух и более трапеций – среднее арифметическое взвешенного значения ширин (средних линий) трапеций от их высоты (протяженности по стойке).

Применение описанного способа **в общем случае** осуществляется следующим образом.

Для инструментального измерения ширин и высот стоек используется линейка длиной не менее 3,5 м с ценой делений шкалы, которая не должна превышать 0,01 м. Для упрощения процедуры измерений линейка может иметь на конце двусторонние мерные крюки с внутренним и внешним расположением нулевых отметок измерительной шкалы (для упора или зацепа линейки).

Для определения ширины штабеля измерению подлежат не менее двух его поперечных сечений, образованных парами крайних стоек, ближайших к торцевым сторонам штабеля, на которые опирается штабель.

До погрузки круглых лесоматериалов в стойки железнодорожного, автомобильного транспорта, в полувагон с вертикальной оторцовкой штабеля боковыми стенками (до отгрузки получателю) или стойки, которые установлены на земле, проводятся следующие измерения:

- для штабеля, поперечное сечение которого состоит из одной трапеции, измеряется ширина по низу (между углами, которые формируют нижняя поперечная балка и стойки) и общая высота стоек;
- для штабеля, поперечное сечение которого состоит из двух трапеций (рис. 2), измеряется ширина штабеля у его основания по низу ( $B_1$ ) и по верху ( $B_2$ ) ребер жесткости, их высота ( $H_1$ ), высота стойки от верха ребра жесткости до верха стойки ( $H_2$ ), а также общая высота стоек ( $H_3$ );
- для штабеля, поперечное сечение которого состоит из трех трапеций (рис. 3), измеряется ширина штабеля у его основания по низу ( $B_1$ ) и по верху ( $B_2$ ) ребер жесткости, их высота ( $H_1$ ), ширина штабеля на следующем по высоте изгибе стоек ( $B_3$ ), высота стойки от верха ребер жесткости до следующего по высоте изгиба стоек ( $H_2$ ), высота стойки от изгиба стоек над ребрами жесткости до верха стойки ( $H_3$ ), а также общая высота стоек ( $H_4$ );

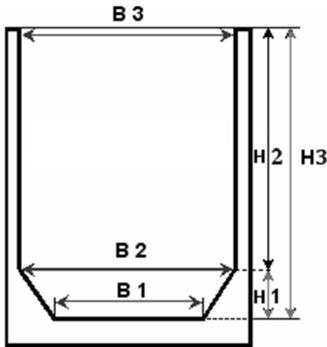


Рис. 2. Схема поперечного сечения штабеля, состоящего из двух трапеций

Fig. 2. Cross-section diagram of a stack consisting of two trapezoids

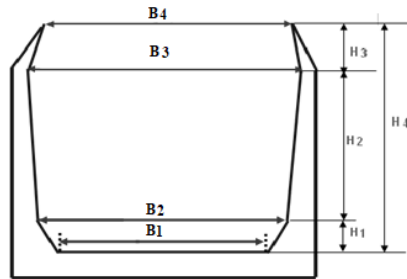


Рис. 3. Схема поперечного сечения штабеля, состоящего из трех трапеций

Fig. 3. Cross-section diagram of a stack consisting of three trapezoids

- если поперечный профиль штабеля состоит из более чем двух трапеций (рис. 4), дополнительно измеряются: ширина между стойками на каждом последующем по высоте изгибе стойки (основание трапеции) и протяженность изгиба по высоте (высота трапеции).

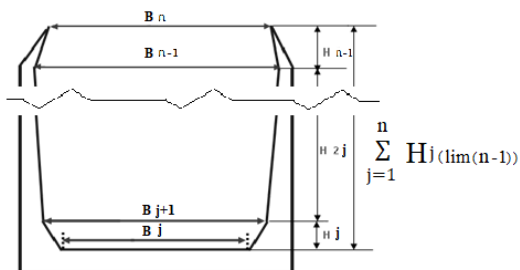


Рис. 4. Схема поперечного сечения штабеля, состоящего из множества трапеций

Fig. 4. Cross-section diagram of a stack consisting of many trapezoids

После загрузки круглых лесоматериалов в стойки железнодорожного, автомобильного транспорта, в полувагон с вертикальной оторцовкой штабеля боковыми стенками или стойки, которые установлены на земле (с наличием штабеля лесоматериалов, помещенного между стойками), во всех случаях измеряется ширина между стойками по верху между внутренними боковыми поверхностями стоек на их вершинах для штабеля, поперечное сечение которого состоит как из одной, так и из двух (рис. 2, В3), трех (рис. 3, В4) и более трапеций (рис. 4, В<sub>n</sub>).

Ширину штабеля, уложенного между стойками, рассчитывают следующим образом:

- для штабеля, поперечное сечение которого состоит из одной трапеции, рассчитывают среднее арифметическое значение двух оснований трапеции, образованных стойками. Среднее арифметическое значение рассчитывают для каждой из двух пар стоек, на которые опирается штабель. Полученные значения усредняют между собой;

- для штабеля, поперечное сечение которого состоит из двух трапеций (рис. 2), для каждой из двух пар стоек, на которые опирается штабель, ширина рассчитывается по формуле (2), после чего полученные значения усредняют.

$$B_{2\text{тр.}} = \frac{((B_1 + B_2) \div 2) \times H_1 + ((B_2 + B_3) \div 2) \times H_2}{H_3}, \quad (2)$$

где  $B_{2\text{тр.}}$  – ширина штабеля, образованного двумя трапециями;  $B_1$  – ширина штабеля у его основания по низу ребер жесткости;  $B_2$  – ширина штабеля по верху ребер жесткости;  $B_3$  – ширина между стойками по верху между внутренними боковыми поверхностями стоек на их вершинах;  $H_1$  – высота

ребер жесткости;  $H_2$  – высота стоек от верха ребра жесткости до верха стойки;  $H_3$  – общая высота стоек.

• для штабеля, поперечное сечение которого состоит из трех трапеций (рис. 3), для каждой из двух пар стоек, на которые опирается штабель, ширина рассчитывается по формуле (3), после чего полученные значения усредняют.

$$B_{3\text{тр.}} = \frac{((B_1 + B_2) \div 2) \times H_1 + ((B_2 + B_3) \div 2) \times H_2 + ((B_3 + B_4) \div 2) \times H_3}{H_4}, \quad (3)$$

где  $B_{3\text{тр.}}$  – ширина штабеля, образованного тремя трапециями;  $B_1$  – ширина штабеля у его основания по низу ребер жесткости;  $B_2$  – ширина штабеля по верху ребер жесткости;  $B_3$  – ширина штабеля на следующем по высоте изгибе стоек;  $B_4$  – ширина между стойками по верху между внутренними боковыми поверхностями стоек на их вершинах;  $H_1$  – высота ребер жесткости;  $H_2$  – высота стойки от верха ребер жесткости до следующего по высоте изгиба стоек;  $H_3$  – высота стоек от изгиба стоек над ребрами жесткости до верха стоек;  $H_4$  – общая высота стоек.

• для штабеля, поперечное сечение которого состоит из множества трапеции (рис. 4), для каждой из двух пар стоек, на которые опирается штабель, ширина рассчитывается по формуле (4), после чего полученные значения усредняют.

$$B_{\text{мн.тр.}} = \frac{\sum_{j=1}^n (((B_{j(\text{lim}(n-1))} + B_{j+1}) \div 2) \times H_{j(\text{lim}(n-1))})}{\sum_{j=1}^n (H_{j(\text{lim}(n-1))})}, \quad (4)$$

где  $B_{\text{мн. тр.}}$  – ширина штабеля, образованного множеством трапеций;  $\sum_{j=1}^n$  – алгебраическая сумма числового алгебраического выражения со значениями индекса  $j$  от 1 до  $n$ ;  $B_{j(\text{lim}(n-1))}$  – ширины штабеля от его основания по низу ребер жесткости ( $B_j$ ) до последнего по высоте изгиба стоек ( $B_{n-1}$ ), предшествующего ширине по верху стоек ( $B_n$ );  $B_{j+1}$  – ширины штабеля от первого изгиба стоек выше основания (верха ребер жесткости) до ширины по верху стоек ( $B_n$ );  $H_{j(\text{lim}(n-1))}$  – высота каждого отрезка стоек, принятого за высоту трапеции, от нижнего ( $H_j$ ) до верхнего ( $H_{n-1}$ );  $\sum_{j=1}^n H_{j(\text{lim}(n-1))}$  – алгебраическая сумма высоты каждого отрезка стоек, принятого за высоту трапеции, от нижнего ( $H_j$ ) до верхнего ( $H_{n-1}$ ) – общая высота стоек.

Основания трапеций, составляющих профиль поперечного сечения штабеля, их высоты, а также общую высоту стоек измеряют в сантиметрах с

округлением до целого сантиметра. Расчетные ширины для каждой пары стоек, а также средняя ширина штабеля округляются до целого сантиметра. При этом доли менее 0,5 см в расчет не принимают, а 0,5 см и более приравнивают к ближайшему целому сантиметру в сторону увеличения. После округления средняя расчетная ширина штабеля переводится в метры.

Если измерения средней ширины штабеля требуется провести после загрузки круглых лесоматериалов в стойки железнодорожного, автомобильного транспорта, в полувагон с вертикальной оторцовкой штабеля боковыми стенками (после прибытия к получателю) или стойки, которые установлены на земле, измерения проводятся в обратной последовательности:

- измеряется ширина между стойками, в которые уложен штабель лесоматериалов, по верху, между внутренними боковыми поверхностями стоек на их вершинах;
- после выгрузки штабеля лесоматериалов из стоек измеряются основания и высоты трапеций, составляющих поперечное сечение штабеля, а также общая высота стоек;
- расчет средних ширин каждой пары стоек и средней ширины штабеля осуществляется аналогично расчетам выше.

**В частном случае**, когда штабель лесоматериалов, уложенный между стойками, не заполняет весь поперечный профиль, образованный стойками (верх штабеля расположен значительно ниже верха стоек), и измерение ширины между стойками по их верху может привести к погрешности в определении средней ширины штабеля более 1% (как правило, в сторону завышения), применение описанного способа может осуществляться следующим образом:

- измерение ширины между стойками по верху между внутренними боковыми поверхностями стоек на их вершинах заменяется измерением ширины между стойками на уровне верха уложенного в стойки штабеля, а за общую высоту стоек принимается высота штабеля;
- после выгрузки штабеля лесоматериалов из стоек измеряются основания и высоты трапеций, составляющих поперечное сечение штабеля, которые расположены ниже верха штабеля (уровня, на котором была измерена ширина между стойками на уровне верха штабеля), а высота верхней трапеции рассчитывается (измеряется) до верха штабеля;
- расчет средних ширин каждой пары стоек и средней ширины штабеля осуществляется аналогично расчетам выше.

Измеренные указанным для общего случая способом ширины могут использоваться в дальнейшем при осуществлении приемки групповым

(геометрическим) методом партий круглых лесоматериалов, погруженных в те транспортные средства (стойки), ширина которых была измерена.

Повторное измерение ширин штабелей на автомобилях следует проводить с периодичностью не реже одного раза в полгода; на железнодорожном транспорте – не реже одного раза в год. При поступлении автомобильного и железнодорожного транспорта, у которого был произведен ремонт стоек (видны наваренные ребра жесткости, заварены трещины, укреплены стойки и т.д.), должны проводиться дополнительные измерения, вне зависимости от срока их предыдущего обмера.

Если повторно измеренная средняя ширина штабеля отличается от результата предыдущего измерения ширины в пределах  $\pm 1\%$ , прежняя ширина не меняется.

Для штабелей, которые подлежат дальнейшему контрольному поштучному определению объема для определения фактического коэффициента полндревесности, ширина измеряется дополнительно перед осуществлением контрольных поштучных измерений. Дополнительное измерение ширины минимизирует вероятность неверного определения коэффициента полндревесности по результатам контрольной поштучной приемки.

*Заключение.* Предлагаемый способ измерения ширины штабеля круглых лесоматериалов, уложенного между стойками, основывается на том, что его поперечное сечение рассматривается как трапеция или совокупность двух или более трапеций, расположенных друг над другом. При расходящихся к своим вершинам стойках трапеции обращены верхними, меньшими, основаниями вниз; при сходящихся – большее основание расположено снизу, а меньшее сверху. При этом верхнее основание одной трапеции является нижним основанием вышерасположенной трапеции. Основанием нижней трапеции является поперечная балка, соединяющая стойки, ограждающие штабель, верхней – горизонтальный отрезок, соединяющий внутренние боковые поверхности стоек на их вершинах. Боковыми сторонами являются отрезки стоек. Способ заключается в измерении между стойками с помощью линейки длины каждого основания трапеции и ее высоты. Верхнее основание верхней трапеции всегда измеряется в загруженном состоянии, для учета расхождения гибких стоек при укладке в них лесоматериалов, а последующих оснований, расположенных ниже нее, - в порожнем. Ширины между стойками рассчитываются, как среднее арифметическое значение оснований одной трапеции или среднее арифметическое взвешенное значение ширин от их высоты двух и более трапеций, образующих поперечное сечение штабеля. За ширину штабеля, огражденного стойками, принимается среднее арифметическое значение ширин

двух пар крайних стоек, ближайших к торцевым сторонам штабеля, на которые опирается штабель.

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

### **Библиографический список**

*Анучин Н.П.* Лесная таксация: учебник для вузов. 5-е изд., доп. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.

*Уголев Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение: учебник для сред. проф. образования. М.: Академия, 2004. 272 с.

### **References**

*Anuchin N.P.* Forest taxation: textbook for universities. 5th ed., add. Moscow: Lesn. prom-ist, 1982. 552 p. (In Russ.)

*Ugolev B.N.* Wood Science and Forest Products: textbook for secondary vocational education. Moscow: Academy, 2004. 272 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 09.07.2025*

---

**Митченко А.П.** Способ измерения ширины штабеля круглых лесоматериалов, уложенного между стойками // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 291–305. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.291-305

Для лесозаготовительной и лесоперерабатывающей отраслей лесного хозяйства РФ, осуществляющих сортиментную заготовку и использующих для переработки круглые лесоматериалы (бревна), важно использовать наименее затратные методы измерения их объемов с допустимой для производства величиной погрешности. К ним относится групповой (геометрический) метод измерения объема круглых лесоматериалов, уложенных в штабель. Основные сложности в определении объема и сходимости результатов измерений возникают при перемещении от поставщика к получателю лесоматериалов, погруженных в штабеля на автомобильный и железнодорожный транспорт. Эти объемы вносятся участниками процесса оборота древесины во ФГИС ЛК РФ, где контролируются и учитываются Федеральным агентством лесного хозяйства. Для повышения точности определения плотного объема штабеля лесоматериалов необходимо правильно осуществлять измерение его составляющих, в том числе ширины. В настоящей статье предлагается способ измерения ширины штабелей, огражденных стойками на автомобильном и железнодорожном транспорте, вертикально оторцованных боковыми стенками полувагона или уложенных между стойками, установленных на земле. Способ позволяет достоверно рассчитывать среднюю ширину штабеля круглых лесоматериалов, учитывая его индивидуальные параметры. Поперечное сечение штабеля рассматривается как трапеция или совокупность двух или более

трапеций, расположенных друг над другом. Ширина рассчитывается как среднее арифметическое значение одной трапеции или среднее арифметическое взвешенное значение ширины от их высоты двух и более трапеций, которые образуют поперечное сечение штабеля между ограждающими его стойками. Описана последовательность проводимых измерений, округления полученных значений, формулы расчета для поперечных профилей, состоящих из двух, трех и множества трапеций, приведены иллюстрации. Описаны общий и частный случаи применения способа измерения, а также допустимые отклонения двух независимых измерений.

**Ключевые слова:** круглые лесоматериалы, измерение ширины штабеля уложенного между стойками, объем штабеля, автомобильный и железнодорожный транспорт.

**Mitchenko A.P.** Method for measuring the width of a stack of round timber placed between stakes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoi Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 291–305 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.291-305

For the logging and timber processing industries of the Russian Federation, which carry out assortment logging and use round timber (logs) for processing, it is important to use the least expensive methods for measuring their volumes, with an error rate acceptable for production. These include the group (geometric) method for measuring the volume of round timber stacked in a pile. The main difficulties in determining the volume and the convergence of measurement results arise when moving timber from the supplier to the recipient, which is loaded in piles on road and rail transport. These volumes are submitted by the participants of the timber turnover process to the Federal State Information System for Forestry of the Russian Federation, where they are controlled and accounted for by the Federal Forestry Agency. To improve the accuracy of determining the dense volume of a timber stack, it is necessary to properly measure its components, including the width. This article proposes a method for measuring the width of stacks and fences.

**Keywords:** round timber, measurement of the width of a stack placed between posts, stack volume, road and rail transport.

---

**МИТЧЕНКО Андрей Петрович** – заместитель генерального директора по качеству АО «Шмидт энд Олофсон», кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 5363-9130. ORCID: 0009-0004-3612-8900.

197183, Сестрорецкая ул., д. 8А, пом. 18Н, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sokachestvo@yandex.ru

**MITCHENKO Andrej P.** – PhD (Agricultural), Deputy of General Director for Quality at JSC «Schmidt and Olofson». SPIN-code: 5363-9130. ORCID: 0009-0004-3612-8900.

197183, Sestroretskaya str. 8A. Room 18H. St. Petersburg, Russia. E-mail: sokachestvo@yandex.ru

**В.В. Трубников, В.А. Марков, А.В. Трофимов, И.А. Зверев**

## **ПРОБЛЕМА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЛЕСНЫХ МАШИН В ОТРАСЛЕВОМ МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Введение.* Наиболее распространенными конструкционными материалами для изготовления деталей, узлов и агрегатов лесных машин являются железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны. Широкое распространение материалов в промышленности обусловлено наличием необходимых механических свойств, широкой номенклатурой способов обработки, возможностью изменения качественных характеристик, большому запасу теоретических и практических знаний по применению, приемлемой стоимостью производства и обработки.

Железоуглеродистые сплавы являются химически активными материалами и подвержены коррозионному разрушению вследствие воздействия внешней среды. Коррозия приводит к существенным экономическим потерям для лесопромышленного комплекса. Исследования показывают, что порядка 40% затрат на проведение работ по восстановлению работоспособного состояния лесной техники приходится на устранение неисправностей, вызванных коррозионными процессами [Быков, Голубев, 2012b; Голубев, 2013]. Дополнительные экономические потери вызывает простой машин, вызванный необходимостью проведения ремонта. Согласно данным [Пучин, 1988; Гайдар, 2011; Быков, Голубев, 2012b; Голубев, 2013], после трех лет эксплуатации прицепной техники порядка 70...80% конструктивных элементов подвержены коррозионному разрушению. Существенное влияние коррозия оказывает на прочностные показатели. Порядка 70...80% деталей лесных машин испытывают отказы вследствие совместного влияния коррозионного и механического воздействия.

Проблема коррозионного разрушения элементов конструкции несомненно является одной из актуальных для отраслевого машиностроения. Комплексного решения по защите от коррозии на всех этапах жизненного цикла техники на сегодняшний день не сформировалось. Обобщающий обзор проблемы коррозионного воздействия на конструктивные элементы лесных машин представляется актуальным.

*Материалы и методика исследования.* Представленный в работе обзор базируется на литературных источниках о видах коррозии металлов и

сплавов, механизмах ее протекания, причинах возникновения, последствиях и способах защиты применительно к лесному машиностроению. Используются методы сбора и обработки информации. Для наглядного представления коррозионных процессов в работе представлены иллюстрации, полученные авторами на предприятиях лесопромышленного комплекса путем фотофиксации явления.

*Цель работы* – проанализировать и обобщить результаты научных изысканий, посвященных проблематике коррозионного разрушения элементов конструкции лесных машин, а также обозначить перспективные направления исследований по совершенствованию защиты лесных машин от воздействия коррозии.

*Результаты исследования.* Для выявления причин возникновения и развития коррозии в элементах конструкции лесных машин необходимо разобрать существующую классификацию коррозионных процессов и выделить основные виды, характерные для условий эксплуатации лесной техники.

Коррозия металлических материалов классифицируется по механизму и условиям протекания процесса, а также характеру коррозионного разрушения (рис. 1) [Петрова и др., 2016; Хамидов, 2022; Akdogan, Eker, 2001].

*Химическая коррозия* – вид коррозии, которая протекает в сухих газовых средах и жидких неэлектролитах. При химической коррозии взаимодействие металла с коррозионной средой протекает в одном акте [Дмитриев, Молочников, 2022]. По условиям протекания химическая коррозия может быть газовой, при которой окисление происходит при высокой температуре в газовой среде и без конденсации влаги, и коррозией в неэлектролитах, при которой окисление происходит в жидкостях, не проводящих электрический ток (бензин, дизельное топливо, гидравлические жидкости, моторные масла, смазки и др.). Химическая коррозия в чистом виде встречается достаточно редко.

Химическая коррозия характерна для деталей узлов и агрегатов лесных машин, работающих в среде отработавших газов и неэлектролитических жидкостях. Газовой коррозии подвержены детали цилиндропоршневой группы двигателей лесных машин [Тимохова, Бурмистрова, 2016]. Коррозионному разрушению подвержены, например, гильзы цилиндров вследствие воздействия высокотемпературных продуктов сгорания топлива, особенно в верхней части гильз. Поршни, поршневые кольца и пальцы также подвержены воздействию газовой коррозии из-за попадания моторного масла или охлаждающей жидкости в камеру сгорания, использования низкокачественного топлива. На рис. 2 представлены примеры деталей цилиндропоршневой группы, подверженных коррозии.

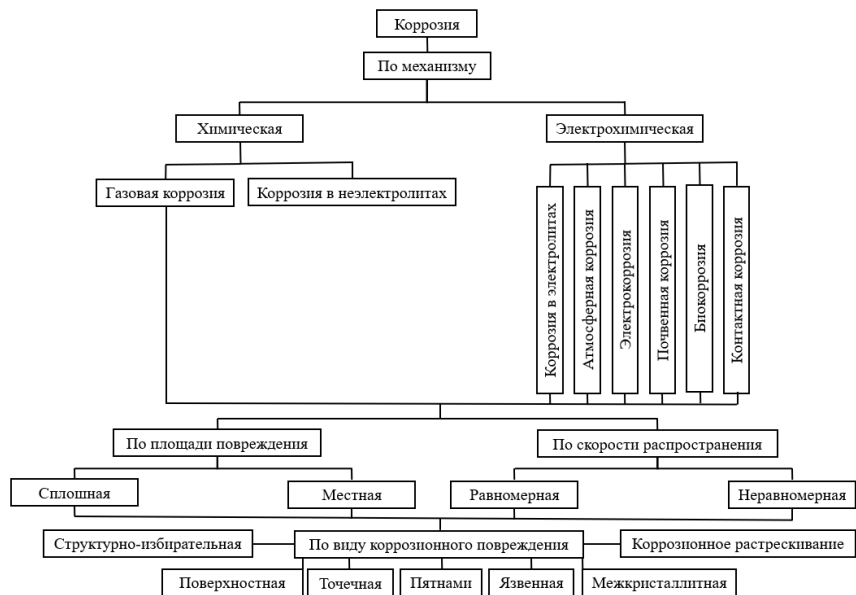


Рис. 1. Виды коррозии металлических материалов

Fig. 1. Types of corrosion of metal materials



Рис. 2. Примеры деталей цилиндро-поршневой группы, подверженных коррозионному износу

Fig. 2. Examples of cylinder-piston group parts subject to corrosive wear

Газовая коррозия характерна на этапе производства заготовок деталей лесных машин методом горячей обработки давлением и при проведении их термической обработки. В обоих случаях окисление металлов происходит вследствие воздействия высокотемпературных газовых сред и, как правило, является неизбежным процессом. Удаление окислившегося слоя металла осуществляется на последующих операциях технологического процесса, например, обработкой резанием.

Химическая коррозия в жидких неэлектролитах свойственна для деталей, узлов и агрегатов гидравлического привода лесной техники, например, гидронасосов, гидромоторов, силовых цилиндров, фитингов и др. (рис. 3). Причиной возникновения коррозионного разрушения является взаимодействие гидравлического масла с деталями гидроагрегатов, причем особенно интенсивно коррозионные процессы протекают при высокой температуре и давлении [Радиминович и др., 2025].



Рис. 3. Примеры деталей гидравлического привода, подверженных коррозионному износу

Fig. 3. Examples of hydraulic drive parts subject to corrosive wear

*Электрохимическая коррозия* – вид коррозии, которая протекает между металлом и коррозионной средой (влажгой, химическими веществами) в присутствии электрического тока [Барышникова, 2025]. В отличие от химической, при электрохимической коррозии одновременно протекают две реакции – окисления и восстановления, локализованные на определенных участках поверхности корродирующего металла [Петрова и др., 2016]. По виду коррозионной среды электрохимическая коррозия может быть:

- в растворах электролитов: коррозия металла протекает в жидкостях, проводящих электрический ток;
- атмосферной: коррозия металла протекает во влажной газовой или воздушной среде;
- почвенной: коррозия металла протекает при его эксплуатации под землей;
- биологической: коррозия металла происходит из-за влияния жизнедеятельности микроорганизмов.

По виду воздействия электрохимическая коррозия подразделяется на электрокоррозию (коррозия под действием внешнего источника тока) и контактную коррозию – разрушение металла, вызванное его контактом с другим металлом, обладающим более положительным электродным потенциалом в данной коррозионной среде [Гиннэ, 2021].

Наиболее характерным видом коррозии для конструктивных элементов лесных машин является *атмосферная коррозия*. Механизм ее образования заключается в том, что твердые частицы различных химических соединений, присутствующие в атмосфере, оседают на поверхностях металлоконструкций и совместно с влагой образуют электролит. В результате на участке металла, покрытом электролитом, происходит электрохимическая реакция, заключающаяся в окислении металла на аноде и восстановлении кислорода на катоде, а образующийся в процессе реакции гидроксид превращается в ржавчину – пористый гигроскопичный продукт, удерживающий влагу и ускоряющий процесс разрушения металла. В качестве коррозионных элементов (катода и анода) могут выступать, например: зерно, граница зерен, структурные составляющие, неметаллические включения, легирующие элементы, микропоры и пр.

Скорость разрушения металла при атмосферной коррозии во многом зависит от влажности воздуха, его химического состава и температуры. Согласно принятой классификации [Вигдорович и др., 2001], атмосферную коррозию подразделяют на:

- сухую атмосферную коррозию, протекающую при практически отсутствующем слое влаги на поверхности металла, что на практике встречается крайне редко;
- влажную атмосферную коррозию, протекающую при относительной влажности воздуха менее 100%, когда на поверхности металла образуется пленка электролита толщиной 0,01...1 мкм;
- мокрую атмосферную коррозию, протекающую в условиях капельной конденсации, когда слой воды на поверхности металла можно увидеть невооруженным глазом.

Наиболее характерной для условий эксплуатации лесной техники является влажная атмосферная коррозия, так как работа машин осуществляется в сложных природно-производственных условиях на протяжении всего года или с непродолжительным периодом хранения в межсезонье, как правило, с апреля по октябрь.

В процессе взаимодействия лесных машин с предметом труда, осуществления технологических переездов под пологом леса и пр. происходит постепенное изнашивание лакокрасочных покрытий наружных элементов конструкции машин, в частности, кабин операторов техники. В результате появляются участки металла, которые лишены защиты от воздействия влаги и постепенно подвергаются коррозионному разрушению (рис. 4).



Рис. 4. Лесовозный автомобиль Урал 4320 и трелевочный трактор ТДТ-55 со следами атмосферной коррозии, полученными в результате износа лакокрасочного покрытия (техника ООО «Вольнов»)

Fig. 4. A Ural 4320 logging truck and a TDT-55 skidder with traces of atmospheric corrosion resulting from wear of the paintwork (machines of Volnov LLC)

Исследованиями [Быков, Голубев, 2011; Быков, Голубев, 2012а; Тимохова, Бурмистрова, 2016] установлено, что значительную опасность атмосферная коррозия представляет для лесных машин не только в процессе эксплуатации, но и при их хранении в межсезонье на открытых площадках. Наиболее эффективным методом защиты лесной техники от атмосферной коррозии на период хранения машин является нанесение консервационных составов.

На сегодняшний день разработаны и активно используются различные составы и материалы, предназначенные для обработки деталей и металлоконструкций лесных машин на время их хранения.

В качестве консервационных покрытий могут использоваться: пластичные смазки, жидкие масла, преобразователи ржавчины с ингибирующими добавками, защитные восковые дисперсии, бензинобитумные составы и др. [Голубев, 2013; Раковская, Кудряшова, 2017]. Представленные покрытия эффективно защищают от атмосферной коррозии металлические элементы конструкции лесной техники в период ее хранения, однако их использование сопряжено с экономическими потерями как на приобретение, так и на транспортировку консервационных покрытий до места хранения машин.

Известны консервационные составы на основе отработанного моторного масла и отходов производства растительных масел [Голубев, 2012]. Способ отличается экономической эффективностью, так как позволяет использовать отходы собственного производства. Рассматриваемый вариант защиты от коррозии целесообразен только при хранении лесной техники в закрытых помещениях (ангарах, гаражах и пр.) или под навесом. Доказано, что при хранении лесных машин на открытых площадках использование отходов производства является неэффективным вследствие смывания консервационного состава с поверхностей машин атмосферными осадками [Быков, Голубев, 2013]. Для повышения стойкости консервационных составов на основе отходов производства при хранении лесных машин на открытых площадках в состав дополнительно могут быть введены нанопорошки различных химических элементов, например, наноразмерный порошок бемита [Быков, Голубев, 2012b].

Безусловно, использование только консервационных покрытий для защиты лесной техники от воздействия атмосферной коррозии является недостаточным в силу того, что их защитные свойства во многом обеспечиваются только на период хранения машин. Не восстанавливают они и уже подверженные коррозионному разрушению детали, поэтому стратегия обеспечения коррозионной защиты лесной техники должна начинаться уже на этапе конструкторско-технологической разработки проектируемых машин, а также включать в себя способы восстановления работоспособного состояния элементов конструкции, которые уже были подвергнуты воздействию коррозии в процессе эксплуатации. Исследованиями [Трубников и др., 2025а, б] показано, что на этапах изготовления несущих элементов лесных машин и при восстановлении изношенных в результате воздействия коррозии поверхностей наиболее эффективным и экономически целесообразным можно считать применение сочетания металлического по-

крытия, нанесенного методом холодного газодинамического напыления, и классического лакокрасочного покрытия.

Что касается численного определения потерь металла от воздействия атмосферной коррозии, то на сегодняшний день разработан достаточно точный математический аппарат для проведения расчета скорости атмосферной коррозии [Михайловский, 1989]. Проведение расчетов позволяет осуществлять построение карт коррозии для различных регионов как для периода эксплуатации, так и для хранения лесных машин в межсезонье [Быков, Голубев, 2011]. Построение карт позволяет подобрать наиболее подходящие для конкретных природно-производственных условий защитные покрытия.

Разработаны методики расчетов по определению влияния атмосферной коррозии на механические свойства (предел выносливости, предел текучести) материалов, из которых изготавливают несущие элементы лесных машин и металлоконструкции технологического оборудования. Разработанные модели учитывают не только материал, но и форму поперечного сечения конструктивных элементов. Например, для коробчатого сечения, применяемого в металлоконструкциях манипуляторов и рабочих органов лесных машин, характерна более высокая скорость коррозионного разрушения на верхнем поясе и в нижних частях боковых стенок, в местах соединения с нижним поясом (рис. 5), что объясняется стеканием влаги с верхних участков [Данилов, 2010].

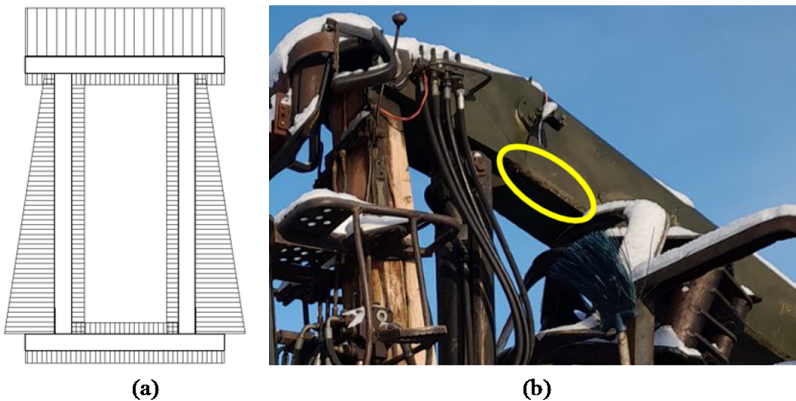


Рис. 5. Распределение коррозии по периметру металлоконструкции манипулятора: (а) эпюра распределения коррозии по периметру балки коробчатого сечения; (б) очаги коррозионного разрушения металла в нижней части стрелы манипулятора ПЛ-70

Fig. 5. Distribution of corrosion along the perimeter of the manipulator metal structure: (a) diagram of corrosion distribution along the perimeter of a box beam; (b) areas of corrosion damage to metal in the lower part of the PL-70 manipulator boom

Возможные коррозионные потери металла должны учитываться уже на этапе проектирования лесных машин, при проведении прочностных расчетов и обосновании коэффициента запаса прочности. Наиболее эффективным будет подход, учитывающий и природно-производственные условия, в которых будет эксплуатироваться машина, и геометрические размеры проектируемого элемента конструкции.

Еще одним видом коррозии, характерным для лесозаготовительной и лесохозяйственной техники, является *почвенная коррозия*. Этот вид воздействия характерен для конструктивных элементов, которые в процессе эксплуатации взаимодействуют с почвогрунтами, например, лемехи лесных плугов, фрезы культиваторов, траки гусеничных машин и др.

Причиной возникновения почвенной коррозии является взаимодействие металла с влагой и химическими элементами, содержащимися в почвах. Механизм почвенной коррозии протекает по электрохимическому принципу, за исключением сухих песчаных грунтов, не являющихся характерными для условий эксплуатации лесных машин. На скорость коррозионного разрушения металла влияют влажность почвы, ее кислотность, химический и гранулометрический состав [Назарова, Таныгина, 2016].

В процессе эксплуатации конструктивные элементы, которые взаимодействуют с почвогрунтами, подвержены постоянному абразивному изнашиванию вследствие воздействия различных твердых частиц, находящихся в почве, что приводит к разрушению защитных покрытий и способствует образованию коррозии на незащищенном металле. Для сохранения работоспособного состояния рассматриваемых конструктивных элементов очень важным аспектом является проведение ремонтных работ по восстановлению защитных покрытий, например, холодным газодинамическим напылением [Трубников и др., 2025a]. Стоит отметить, что лесохозяйственная техника и технологическое оборудование эксплуатируются всего несколько смен в году. Остальное время машины находятся на хранении, поэтому преобладающую роль в разрушении лесохозяйственной техники играет атмосферная коррозия [Голубев и др., 2011].

Характерны для лесных машин и другие виды коррозии. Например, *биологическая коррозия* является причиной коррозионного разрушения топливных насосов, баков и других емкостей для хранения топлива и масла [Балихин и др., 2006]. *Коррозия в растворах электролитов* может быть причиной разрушения конструктивных элементов лесных машин, эксплуатирующихся в болотистой местности, за счет растворения сероводорода в

воде [Бурмистрова, Тимохова, 2016]. *Контактная коррозия* характерна для контактных поверхностей деталей лесных машин, изготовленных из металлов с различным электродным потенциалом. Характерными примерами являются шарнирные сочленения манипуляторов лесных машин (палец–антифрикционная втулка). В результате контактной коррозии в сочленении появляется оксидная пленка, которая при последующем механическом воздействии разрушается и способствует увеличению скорости износа деталей сочленения [Черник и др., 2021].

В табл. 1 представлено распределение элементов конструкции лесных машин с указанием типовых представителей по видам коррозионного разрушения и причинам его возникновения.

Таблица 1

**Распределение элементов конструкции лесных машин по видам коррозии**  
**Distribution of structural elements of forestry machines by types of corrosion**

Вид коррозии	Причины возникновения	Элементы конструкции лесных машин	Типовые представители
Газовая	Воздействие высокотемпературных продуктов сгорания топлива	Цилиндро-поршневая группа ДВС, система выпуска отработанных газов	Поршни, клапана, гильзы цилиндров, глушитель
В жидких неэлектролитах	Воздействие гидравлического масла	Гидропривод лесных машин и технологического оборудования	Штоки и гильзы гидроцилиндров, плунжеры гидронасосов и моторов
В жидких электролитах	Эксплуатация лесных машин в болотистой местности	Несущие элементы, ходовой системы	Рамы тракторов и автомобилей, опорные катки, ступицы колес
Атмосферная	Воздействие воздушной среды при эксплуатации и хранении машин	Кабины операторов, технологическое оборудование, ходовая система, несущие элементы	Стрела и рукоять манипуляторов, рамы машин, корпуса рабочих органов
Почвенная	Взаимодействие металла с влагой и химическими элементами содержащимися в почве	Технологическое оборудование лесохозяйственной техники, ходовая система	Лемехи плугов, фрезы культиваторов, траки гусеничных машин
Биологическая	Воздействие на металл продуктов жизнедеятельности микроорганизмов	Резервуары для хранения топлива и масла	Топливный бак, гидробак, топливный насос
Контактная	Контакт поверхностей металлических деталей с разным электродным потенциалом	Шарнирные сочленения манипуляторов, крепежные элементы	Пальцы, втулки, проушины, болты, гайки, шпильки

*Заключение.* Представленный в работе обзор показал, что проблема коррозионного разрушения конструктивных элементов лесных машин является значимой и требует комплексного подхода к ее решению на всех этапах жизненного цикла изделий.

Стоит отметить, что существующая на сегодняшний день научная литература в большинстве своем освещает вопросы коррозионной защиты на этапе эксплуатации лесной техники, особенно при хранении в межсезонье. В меньшей степени затрагивается решение проблемы на этапах конструкторской и технологической подготовки.

На сегодняшний день сформировалось достаточно точное представление о видах коррозии, механизмах ее протекания, причинах, последствиях и способах защиты. По мнению авторов, достаточно актуальными представляются исследования, направленные на:

- совершенствование методик расчета прочности элементов конструкций лесных машин, учитывающих возможные коррозионные процессы при эксплуатации техники;
- разработку новых, не восприимчивых к коррозии конструкционных материалов, обладающих необходимыми для лесных машин механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами;
- повышение уровня автоматизации по нанесению защитных покрытий как при изготовлении новых лесных машин, так и в условиях ремонтных производств.

*Вклад авторов.* Трубников В.В. – постановка цели и задач исследования, сбор и обработка литературных источников (60%); Марков В.А. – сбор и обработка литературных источников (20%); Трофимов А.В. – сбор и обработка литературных источников (10%); Зверев И.А. – общее руководство работой (10%).

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

### **Библиографический список**

*Балихин В.В., Быков В.В., Иванов Н.Ю.* Технология ремонта машин и оборудования: учебник для вузов. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 524 с.

*Барышникова И.Ю.* Эффекты коррозионного разрушения в механизмах лесных машин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): сб. ст. XII Межд. науч.-практ. конф. Пенза, 2025. С. 11-14.

*Бурмистрова О.Н., Тимохова О.М.* Влияние сероводорода на скорость коррозии деталей лесных машин // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 5, № 12. С. 82–84.

*Быков В.В., Голубев М.И.* Карты атмосферной коррозии лесных машин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. № 5. С. 53-55.

*Быков В.В., Голубев М.И.* Консервационные составы из отходов для защиты лесных машин от коррозии при хранении // Труды ГОСНИТИ. 2012а. Т. 110, № 1. С. 44-46.

*Быков В.В., Голубев М.И.* Эффективность наноматериалов на основе отходов производства растительных масел для защиты лесных машин от коррозии при хранении // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2012b. № 7. С. 136-137.

*Быков В.В., Голубев М.И.* Использование отходов производства растительных масел для защиты машин лесного хозяйства от коррозии // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 112, № 2. С. 58-60.

*Вигдорovich В.И., Шель Н.В., Крылова А.Г.* Особенности атмосферной коррозии металлов // Вестник ТГУ. 2001. Т. 6, № 3. С. 279-289.

*Гайдар С.М.* Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2011. 433 с.

*Гиннэ С.В.* К вопросу о защите строительных машин и оборудования от контактной коррозии металлов // Эпоха науки. 2021. № 25. С. 60-70.

*Голубев М.И.* Эффективность консервационных составов для защиты лесных машин от коррозии при хранении на открытых площадках // Тр. межд. симпозиума «Надежность и качество». 2012. Т. 2. С. 172.

*Голубев М.И.* Новые материалы для защиты лесных машин от коррозии // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2013. №1. С. 40–41.

*Голубев И.Г., Быков В.В., Голубев М.И.* Консервационные составы на основе отходов растительных масел для защиты лесных машин от коррозии при хранении // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: мат. межд. науч.-практ. конф. Минск, 2011. С. 130-132.

*Данилов Д.С.* Диагностика повреждаемости металлических конструкций грузоподъемных машин: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2010. 160 с.

*Дмитриев И.Ю., Молочников Д.Е.* Коррозионные процессы металлов // Наука и Образование. 2022. Т. 5, № 2.

*Михайловский Ю.Н.* Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты. М.: Металлургия, 1989. 101 с.

*Назарова А.А., Таныгина Е.Д.* Влияние химического и гранулометрического состава различных типов почв на скорость почвенной коррозии стали 3 // Апробация. 2016. № 3(42). С. 14-17.

*Петрова Л.Г., Тимофеева Г.Ю., Демин П.Е., Косачев А.В.* Основы электрохимической коррозии металлов и сплавов: учеб. пособие / под общ. ред. Г.Ю. Тимофеевой. М.: МАДИ, 2016. 148 с.

*Пучин Е.А.* Противокоррозионная защита сварных конструкций зерноуборочных комбайнов при эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. М., 1988. 176 с.

*Радминович П.С., Сокол В.А., Маковская И.А.* Коррозионные процессы в гидросистемах и пути их предотвращения // НИРС АТФ-2025: мат. 81-й студ. науч.-техн. конф. Минск, 2025. С. 81-84.

*Раковская Е.Г., Кудряшова О.А.* Применение модифицированного преобразователя ржавчины П-2 для защиты лесных машин от коррозии // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. С. 309-323. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.309-323.*

*Тимохова О.М., Бурмистрова О.Н.* Анализ воздействия коррозионного износа на работоспособность деталей лесных машин // *Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6, № 3(23). С. 183-188. DOI: 10.12737/21697.*

*Трубников В.В., Марков А.А., Ганин С.В., Блинов С.А., Левитский А.М., Трофимов А.В., Зверев И.А.* Анализ коррозионной стойкости порошковых покрытий для защиты деталей лесных машин // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025а. № 255. С. 336-356. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.336-356.*

*Трубников В.В., Марков А.А., Трофимов А.В., Хахина А.М., Зверев И.А.* Анализ антикоррозийных покрытий для несущих элементов лесных машин // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025б. № 256. С. 480-497. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.480-497.*

*Хамидов О.И.* Процесс коррозии металлов боевых и мобильных машин: классификация коррозионных процессов и виды коррозионного разрушения // *Научные исследования XXI века. 2022. № 1(15). С. 81-85.*

*Черник К.Н., Гиннэ С.В., Черник Д.В.* О защите шарнирных соединений лесных манипуляторов от фреттинг-коррозии // *Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 5. С. 413-420.*

*Akdogan A., Eker B.* The effect of corrosion and prevention methods on agricultural machinery // *Farm work science facing the challenge of the XXI century. Leiden, The Netherlands, 2001. P. 278-283. DOI: 10.1163/9789004683662\_048.*

## References

*Akdogan A., Eker B.* The effect of corrosion and prevention methods on agricultural machinery. *Farm work science facing the challenge of the XXI century. Leiden, 2001, pp. 278-283. DOI: 10.1163/9789004683662\_048.*

*Balikhin V.V., Bykov V.V., Ivanov N.Yu.* Machine and Equipment Repair Technology: textbook for universities. St. Petersburg: SPbFTA, 2006. 524 p. (In Russ.)

*Baryshnikova I. Yu.* Effects of Corrosion Destruction in Forestry Machine Mechanisms. *Transport. Economy. Social Sphere (Current Issues and Their Solutions): collection of articles from the XII Int. sci.-pract. conf. Penza, 2025, pp. 11–14. (In Russ.)*

*Burmistrova O.N., Timokhova O.M.* The Effect of Hydrogen Sulfide on the Corrosion Rate of Forestry Machine Parts. *Advances in Modern Science and Education, 2016, vol. 5, no. 12, pp. 82-84. (In Russ.)*

*Bykov V.V., Golubev M.I.* Atmospheric corrosion maps of forestry machines. *Bulletin of MSFU – Forest Bulletin, 2011, no. 5, pp. 53-55. (In Russ.)*

*Bykov V.V., Golubev M.I.* Preservative compositions from waste to protect forestry machines from corrosion during storage. *Proceedings of GOSNITI, 2012a, vol. 110, no. 1, pp. 44-46. (In Russ.)*

Bykov V.V., Golubev M.I. Efficiency of nanomaterials based on vegetable oil production waste for protecting forestry machines from corrosion during storage. *Bulletin of MSFU – Forest Bulletin*, 2012b, no. 7, pp. 136-137. (In Russ.)

Bykov V.V., Golubev M.I. Using vegetable oil production waste to protect forestry machines from corrosion. *Proceedings of GOSNITI*, 2013, vol. 112, no. 2, pp. 58–60. (In Russ.)

Chernik K.N., Ginne S.V., Chernik D.V. On the protection of articulated joints of forestry manipulators from fretting corrosion. *Conifers of the boreal zone*, 2021, vol. 39, no. 5, pp. 413-420. (In Russ.)

Danilov D.S. Damage Diagnostics of Metal Structures of Lifting Machines: Diss. ... Cand. Tech. Sci. Tula, 2010. 160 p. (In Russ.)

Dmitriev I.Yu., Molochnikov D.E. Corrosion Processes of Metals. *Science and Education*, 2022, vol. 5, no. 2. (In Russ.)

Gaidar S.M. Protection of Agricultural Machinery from Corrosion and Wear Using Nanotechnology: Diss. ... Dr. Tech. Sci. Moscow, 2011. 433 p. (In Russ.)

Ginne S.V. On the Protection of Construction Machinery and Equipment from Contact Corrosion of Metals. *Epoch of Science*, 2021, no. 25, pp. 60-70. (In Russ.)

Golubev I.G., Bykov V.V., Golubev M.I. Preservative compositions based on waste vegetable oils for the protection of forestry machines from corrosion during storage. *Scientific and technical progress in agricultural production: proceedings of the int. sci.-pract. conf. Minsk*, 2011, pp. 130–132. (In Russ.)

Golubev M.I. Efficiency of Preservative Compositions for Protecting Forest Machinery from Corrosion During Storage in Open Areas. *Proceedings of the Int. Symposium “Reliability and Quality”*, 2012, vol. 2, p. 172. (In Russ.)

Golubev M.I. New materials for the protection of forestry machines from corrosion. *Bulletin of MSFU – Forest Bulletin*, 2013, no. 1, pp. 40–41. (In Russ.)

Khamidov O.I. The corrosion process of metals of combat and mobile vehicles: classification of corrosion processes and types of corrosion damage. *Scientific research of the XXI century*, 2022, no. 1 (15), pp. 81-85. (In Russ.)

Mikhailovskiy Yu.N. Atmospheric Corrosion of Metals and Methods of Their Protection. Moscow: Metallurgiya, 1989. 101 p. (In Russ.)

Nazarova A.A., Tanygina E.D. Effect of Chemical and Granulometric Composition of Different Soil Types on the Rate of Soil Corrosion of Steel 3. *Approbation*, 2016, no. 3 (42), pp. 14-17. (In Russ.)

Petrova L.G., Timofeeva G.Yu., Demin P.E., Kosachev A.V. Fundamentals of Electrochemical Corrosion of Metals and Alloys: textbook / ed. by G.Yu. Timofeeva. Moscow: MADI, 2016. 148 p. (In Russ.)

Puchin E.A. Anti-Corrosion Protection of Welded Structures of Grain Harvesters during Operation: Diss. ... Cand. Tech. Sci. Moscow, 1988. 176 p. (In Russ.)

Radiminovich P.S., Sokol V.A., Makovskaya I.A. Corrosion processes in hydraulic systems and ways to prevent them. *NIRS ATF-2025: proceedings of the 81st stud. sci.-tech. conf. Minsk*, 2025, pp. 81-84. (In Russ.)

*Rakovskaya E.G., Kudryashova O.A.* Application of modified rust converter P-2 for protection of forestry machines from corrosion. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2017, iss. 221, pp. 309-323. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.221.309-323. (In Russ.)

*Timokhova O.M., Burmistrova O.N.* Analysis of the Impact of Corrosive Wear on the Performance of Forest Machine Parts. *Journal of Forest Engineering*, 2016, vol. 6, no. 3(23), pp. 183-188. DOI: 10.12737/21697. (In Russ.)

*Trubnikov V.V., Markov A.A., Ganin S.V., Blinov S.A., Levitskiy A.M., Trofimov A.V., Zverev I.A.* Analysis of corrosion resistance of powder coatings for protection of forestry machine parts. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025a, iss. 255, pp. 336–356. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.336-356. (In Russ.)

*Trubnikov V.V., Markov A.A., Trofimov A.V., Khakhina A.M., Zverev I.A.* Analysis of anti-corrosion coatings for load-bearing elements of forestry machines. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025b, iss. 256, pp. 480-497. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256. 480-497. (In Russ.)

*Vigdorovich V.I., Shel N.V., Krylova A.G.* Features of atmospheric corrosion of metals. *Bulletin of TSU*, 2001, vol. 6, no. 3, pp. 279-289. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 16.02.2025*

---

**Трубников В.В., Марков В.А., Трофимов А.В., Зверев И.А.** Проблема коррозионной стойкости элементов конструкции лесных машин в отраслевом машиностроении // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 306–322.* DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.306-322

В работе представлен обзор, посвященный проблеме коррозионного воздействия на конструктивные элементы лесных машин. Изложенный материал базируется на литературных источниках о видах коррозии металлов и сплавов, механизмах ее протекания, причинах возникновения, последствиях и способах защиты применительно к лесному машиностроению. Цель работы – проанализировать и обобщить результаты научных изысканий, посвященных проблематике коррозионного разрушения элементов конструкции лесных машин, а также обозначить перспективные направления исследований по совершенствованию защиты лесных машин от воздействия коррозии. Представлена классификация видов коррозии. В статье рассматривается воздействие на детали лесной техники газовой, атмосферной, почвенной и других видов коррозии, приводятся примеры конструктивных элементов машин, подверженных рассматриваемому явлению. Представлены иллюстрации, демонстрирующие коррозионные процессы, полученные авторами на предприятиях лесопромышленного комплекса. Исходя из представленного в работе материала, можно сделать вывод, что проблема коррозионного воздействия на конструкцию лесных машин является комплексной и требует

всестороннего подхода, обеспечивающего защиту от коррозии на всех этапах жизненного цикла техники. Существующая на сегодняшний день научная литература в большинстве своем освещает вопросы коррозионной защиты на этапе эксплуатации лесной техники, особенно при хранении в межсезонье. В меньшей степени затрагивается решение проблемы на этапах конструкторской и технологической подготовки. В заключении отмечается ряд перспективных, по мнению авторов, направлений исследований по рассматриваемой проблеме.

**Ключевые слова:** коррозия, лесные машины, атмосферное воздействие, виды коррозии, разрушение металла, конструктивные элементы.

**Trubnikov V.V., Markov V.A., Trofimov A.V., Zverev I.A.** The problem of corrosion resistance of structural elements of forestry machines in industrial mechanical engineering. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 306–322 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.306-322

This paper presents a review of the corrosion effects on structural components of forestry machinery. The material presented is based on literary sources on the types of metal and alloy corrosion, its mechanisms, causes, consequences, and protection methods applied to forestry machinery. The purpose of this paper is to analyze and summarize the results of scientific research on the problem of corrosive destruction of structural components of forestry machinery, as well as to identify promising research areas for improving the protection of forestry machinery from corrosion. A classification of corrosion types is presented. The article examines the effects of gas, atmospheric, soil, and other types of corrosion on forestry machinery components, and provides examples of machine structural components susceptible to this phenomenon. Illustrations demonstrating corrosion processes obtained by the authors at enterprises in the forestry complex are presented. Based on the material presented in this paper, it is concluded that the problem of corrosion effects on the structure of forestry machinery is complex and requires a comprehensive approach ensuring corrosion protection at all stages of the equipment's life cycle. Existing scientific literature largely addresses corrosion protection during the operational phase of forestry equipment, particularly during off-season storage. Less attention is paid to addressing the issue during the design and engineering stages. The authors conclude by highlighting a number of promising research directions in this area.

**Key words:** corrosion, forest machines, atmospheric exposure, types of corrosion, metal destruction, constructive elements.

---

**ТРУБНИКОВ Виктор Валерьевич** – соискатель Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. SPIN-код: 3756-3397.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия.

**TRUBNIKOV Viktor V.** – PhD candidate, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 3756-3397.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. Saint Petersburg. Russia.

**МАРКОВ Виктор Александрович** – доцент кафедры машин и автоматизированных систем Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 1503-7932.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mactor85@mail.ru

**MARKOV Viktor A.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Machines and Automated Systems, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 1503-7932.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg, Russia. E-mail: mactor85@mail.ru

**ТРОФИМОВ Александр Викторович** – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 8933-0230.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: agregat9@yandex.ru

**TROFIMOV Aleksandr V.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Forestry Engineering, Service and Repair, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8933-0230.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: agregat9@yandex.ru

**ЗВЕРЕВ Игорь Андреевич** – доцент кафедры лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 1126-2121. ORCID: 0000-0002-8163-7489.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: igorzv1997@gmail.com

**ZVEREV Igor A.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Forestry Engineering, Service and Repair, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 1126-2121. ORCID: 0000-0002-8163-7489.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: igorzv1997@gmail.com

**А.П. Соколов**

**АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ СНАБЖЕНИЯ СЫРЬЕМ  
ВНОВЬ СОЗДАВАЕМОГО ПРЕДПРИЯТИЯ  
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ НИЗКОТОВАРНОЙ ЛИСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

*Введение.* В феврале 2025 г. в Республике Карелия было объявлено о наличии планов открытия нового предприятия, которое будет перерабатывать низкотоварную древесину лиственных пород – березы и осины. Планируется, что новый завод будет производить беленую химико-термомеханическую массу (БХТММ), которая в дальнейшем применяется для выпуска самой разнообразной продукции, такой как, например, бумажная посуда, картонная упаковка, салфетки и др. О целесообразности создания в Карелии подобного производства специалисты говорят уже несколько лет [Шегельман, Будник, 2015]. Сейчас в регионе существуют достаточно серьезные проблемы с реализацией древесины лиственных пород, которые связаны с существенной перестройкой рынка древесины на Северо-Западе России, происходящей с 2022 г., что, видимо, и стало последним толчком в реализации таких планов. В настоящее время определяется схема финансирования проекта, идет выбор партнеров. В реализации проекта заинтересованы в том числе компании из Китая. Ведется оформление участка для создания предприятия [Карельский..., 2025; Информация..., 2026].

Строительство завода планируется в г. Суоярви – районном центре Республики Карелия. Завод будет размещен рядом с действующим лесопильным предприятием ООО «Форест-Тревел». Предполагается, что новое предприятие будет производить до 200 тонн БХТММ в сутки. Объем инвестиций составляет более 3 млрд руб. Кроме того, будет создано около 100 рабочих мест.

Снабжение нового производства сырьем планируется организовать за счет древесины лиственных пород, заготавливаемой в близлежащих лесах Республики Карелия: Суоярвском, Муезерском, Пряжинском, Олонецком, Питкярантском, Сортавальском. Учитывая, что в лесном комплексе транспортная составляющая в производственных затратах может достигать 50-60% [Ivannikov et al., 2020; Audy et al., 2022], весьма

важными задачами являются всесторонний анализ вопросов организации транспортной логистики и адекватное прогнозирование транспортных издержек с учетом различных вариантов снабжения нового предприятия сырьем.

Для решения данной задачи может быть эффективно применен метод имитационного моделирования, который давно и успешно используется для анализа и синтеза цепей поставок [Ivanov, 2018], а также решения различных прикладных задач в области лесозаготовительного производства [Герасимов, Перский, 2004; Соколов, 2023; Сергеева и др., 2024].

*Материалы и методика исследования.* Решение поставленной задачи базируется на использовании ранее разработанной имитационной модели транспортных потоков на перевозках древесины, реализованной в среде ПО AnyLogic и использующей сочетание агентного и дискретно-событийного моделирования [Соколов, 2025; Соколов и др., 2025].

Предложенная в работе [Соколов и др., 2025] имитационная модель позволяет определять удельные транспортные затраты с учетом расширенного множества влияющих факторов, включая средние скорости движения по конкретным участкам дорог, интенсивность движения на разных участках дорог, распределение интенсивности в течение суток и др.

Если не меняются параметры перевозимого груза, применяемых транспортных средств, а также методы планирования перевозок, удельные транспортные затраты будут зависеть только от эксплуатационной скорости [Легкий, 2022]. Для точного определения эксплуатационной скорости с учетом дорожных условий, ограничений скорости, а также изменения интенсивности потока транспортных средств на разных участках маршрута была разработана математическая модель, описанная в работе [Соколов и др., 2025]. В соответствии с этой моделью эксплуатационная скорость на маршруте вычисляется следующим образом:

$$V = \frac{L}{\sum_{i=0}^M \sum_{j=1}^{12} \frac{l_{ij}}{V_i^0 - \alpha_i \cdot \gamma_{ij} \cdot N_i^b} + t_i^{out}}, \quad (1)$$

где  $M$  – число участков маршрута с разными характеристиками;  $l_{ij}$  – расстояние, пройденное автомобилем по участку  $i$  внутри временного периода  $j$ , км;  $V_i^0$  – скорость движения по участку  $i$  одиночного автомобиля при отсутствии помех, км/ч;  $\alpha_i$  – коэффициент снижения скорости, который зави-

сит от состава транспортного потока [Шведовский, Клебанюк, 2021];  $\gamma_{ij}$  – доля среднесуточного числа транспортных средств, следующих через участок  $i$  в течение периода  $j$ ;  $N_i^b$  – среднесуточная интенсивность движения в одном направлении для участка  $i$ , сут<sup>-1</sup>;  $t_i^{out}$  – время остановок на отдых, пришедшихся на участок  $i$ , ч.

Как было сказано выше, источниками сырья для вновь создаваемого предприятия будут являться расположенные рядом лесничества: Суоярвское, Пряжинское, Олонецкое, Питкярантское, Сортавальское (рис. 1).



Рис. 1. Источники сырья  
Fig. 1. Sources of raw materials

В соответствии со Стратегией развития лесного комплекса Республики Карелия на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Республики Карелия № 235р-П 29 марта 2019 г., был определен суммарный годовой объем доступного сырья (табл. 1).

Учитывая, что расчетное годовое потребление сырья рассматриваемым предприятием на первом этапе оценивается в размере 210 тыс. куб. м, мы имеем более чем восьмикратное превышение доступного объема над потребным. Это дает возможность рассмотреть различные варианты организации цепочек поставок.

Таблица 1

**Суммарный годовой объем доступного сырья по лесничествам****Total annual volume of available raw materials by forestry areas**

Лесничество	Местоположение (широта, долгота)	Площадь, тыс. га	Суммарный объем доступного сырья, тыс. куб. м
Пряжинское	61,70352877; 33,33356692	573130	738,2
Суоярвское	62,26553668; 32,20699684	1353452	728,2
Питкярантское	61,58341761; 31,61621364	194214	43,7
Сортавальское	61,74110550; 30,50572429	161269	31,3
Олонцеко	61,12832970; 33,03603031	352086	243,2
Всего		2634151	1784,6

Адекватность используемой модели в большой мере определяется точностью применяемого распределения интенсивности движения на отдельных участках дорог. Соответствующие данные были получены с помощью сайта государственной системы контроля за формированием и использованием средств дорожных фондов (СКДФ), оператором которой является Федеральное дорожное агентство Росавтодор (рис. 2). На этом сайте представлены оперативно обновляющиеся результаты непрерывного мониторинга за дорожным движением, осуществляемого с помощью обширной сети автоматизированных средств наблюдения и контроля. Распределение интенсивности движения в течение суток было определено в соответствии с методикой, предложенной в работе [Маркуц, 2018] на основании многочисленных данных наблюдений, собранных и проанализированных автором этой работы.

Имитация движения автомобилей происходит в среде ГИС, которая генерируется средствами AnyLogic с использованием технологии OpenMap. Границы отдельных участков дорог, отличающихся разными скоростью и/или интенсивностью движения, были обозначены с помощью соответствующих ГИС-точек (рис. 3).

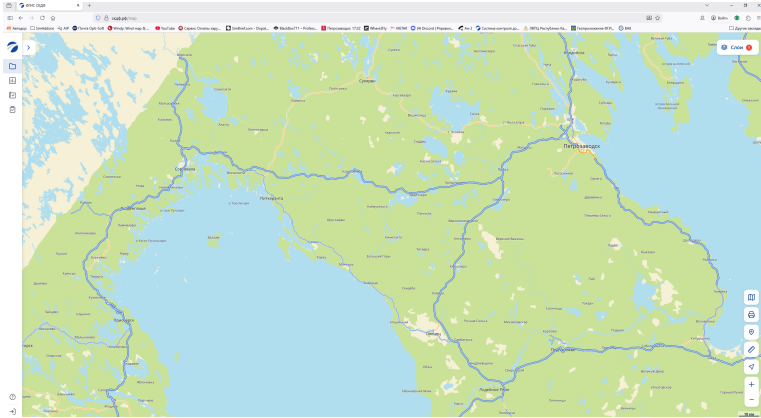


Рис. 2. Интерактивная карта СКДФ на рассматриваемую территорию  
 Fig. 2. SKDF interactive map for the territory of operation

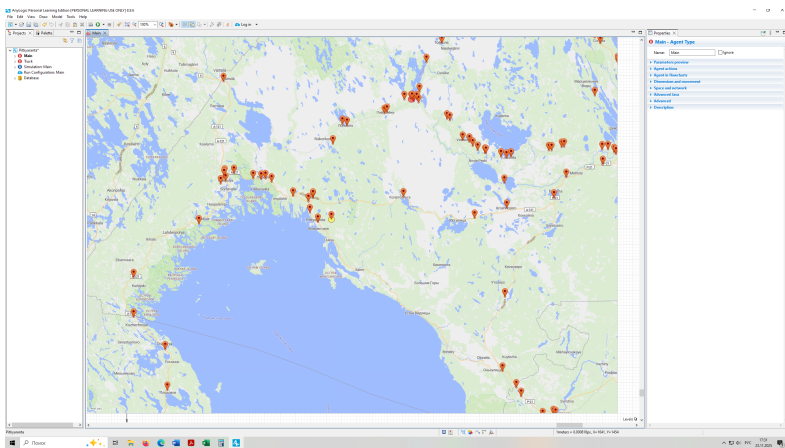


Рис. 3. ГИС-модель с обозначенными границами участков дорог  
 Fig. 3. GIS model with marked road sections

*Результаты.* В качестве исходного сценария для моделирования и оценки эффективности функционирования цепей поставок был выбран вариант, когда суммарный потребный годовой объем сырья (210 тыс. куб. м) распределяется по пяти рассматриваемым лесничествам пропорционально объему доступного сырья в этих лесничествах (табл. 1).

Расчетный баланс поставок для этого сценария приведен в табл. 2.

Таблица 2

**Расчетный баланс поставок для базового сценария**

**Estimated supply balance for the initial scenario**

Лесничество	Суммарный объем доступного сырья, тыс. м <sup>3</sup>	Доля	Годовые поставки, тыс. куб. м	Среднесуточные поставки, куб. м	Среднее число рейсов в сутки	Среднее число рейсов в год
Суоярвское	728,2	0,408	85,69	234,7	5,33	1947,5
Олонецкое	243,2	0,136	28,62	78,4	1,78	650,4
Пряжинское	738,2	0,414	86,87	237,0	5,41	1974,2
Сортавальское	31,3	0,018	3,68	10,1	0,23	83,7
Питкярантское	43,7	0,024	5,14	14,1	0,32	116,9
Сумма	1784,6	1	210	574,3	13,07	4772,7

В соответствии с таким распределением вклад Суоярвского и Пряжинского лесничеств в снабжение предприятия сырьем составит по 41%, на третьем месте – Олонецкое лесничество с 14%, Сортавальское и Питкярантское лесничества поставят по 2% сырья (рис. 4).

При использовании автомобилей-сортиментовозов со средней грузоподъемностью в 44 куб. м среднесуточное число необходимых рейсов равняется 13, что соответствует 4773 рейсам в год (табл. 2).

В ходе имитационного моделирования, основанного на методе контрольного транспортного средства, были определены основные показатели эффективности перевозок (табл. 3, рис. 5–8).

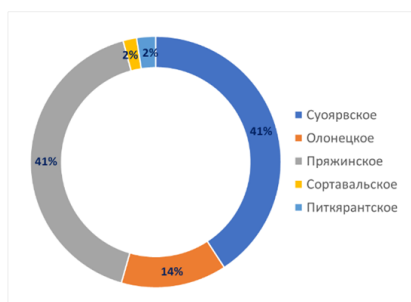


Рис. 4. Распределение поставок сырья в базовом варианте  
 Fig. 4. Distribution of raw material supplies for the initial scenario

Таблица 3

## Результаты моделирования (базовый вариант)

## Simulation results (initial scenario)

Лесничество	Годовые поставки, тыс. куб. м	Среднее расстояние транспортировки, км	Эксплуатационная скорость, км/ч	Размах скорости, км/ч	Суммарное время работы автомобилей, тыс. час	Годовой пробег, тыс. км	Удельные затраты руб./куб. м	Годовые затраты, млн руб.
Суоярвское	85,69	41,7	29,6	0,36	164,7	81,16	668	57,24
Олонецкое	28,62	185,5	69,1	2,39	104,7	120,66	2797	80,06
Пряжинское	86,87	89,0	46,1	0,64	228,4	175,65	1371	119,07
Сортавальское	3,68	155,1	59,4	0,88	13,1	12,99	2353	8,67
Питкярантское	5,14	106,5	57,6	1,43	13,0	12,44	1624	8,35
Сумма/Среднее	210	–	43,0	–	523,9	402,9	1302	273,39

Среднее расстояние транспортировки варьируется от 41,7 км в Суоярвском лесничестве до 185,5 – в Олонецком, что в 4,4 раза больше (рис. 5). Эта разница в расстоянии является основным, но не единственным фактором, который определяет разницу в удельных транспортных затратах (рис. 8).

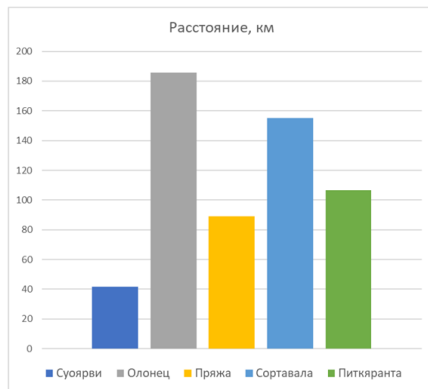


Рис. 5. Среднее расстояние транспортировки, км

Fig. 5. Average transportation distance, km

Минимальное и максимальное значения эксплуатационной скорости отличаются больше чем в два раза (рис. 6). Причиной очень низкой (менее 30 км/ч) эксплуатационной скорости при транспортировке древесины внутри Суоярвского лесничества является то, что движение здесь осуществляется в основном по лесным и региональным дорогам, как правило, с грунтовым покрытием. В остальных случаях задействуются магистральные региональные и федеральные автомобильные дороги с усовершенствованным покрытием. Наибольшая доля таких дорог оказалась в маршрутах, связывающих предприятие с Олонецким лесничеством. Эти дороги также характеризуются высокой интенсивностью дорожного движения, что определяет наибольшее значение размаха скорости, среднего времени в пути и удельных транспортных затрат в течение суток (рис. 6, 7 и 8). Для других лесничеств значения размахов сравнительно небольшие, что говорит о в целом похожих условиях движения.

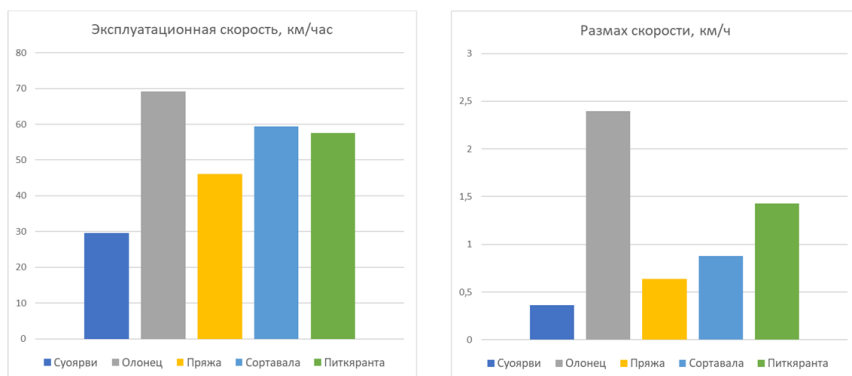


Рис. 6. Эксплуатационная скорость, км/ч

Fig. 6. Operating speed, km/h

Основным показателем эффективности перевозок являются средние удельные транспортные затраты на перевозку одного кубометра древесины. Для рассматриваемого сценария этот показатель составил 1302 руб./куб. м (табл. 3). Наименьшие затраты (668 руб./куб. м) реализуются при осуществлении перевозок из Суоярвского лесничества, наибольшие (2797 руб./куб. м) – из Олонецкого лесничества (табл. 3, рис. 8). Таким образом, затраты отличаются почти в 4 раза. Общие годовые транспортные издержки внутри этого сценария составили 273,39 млн руб. (табл. 3).

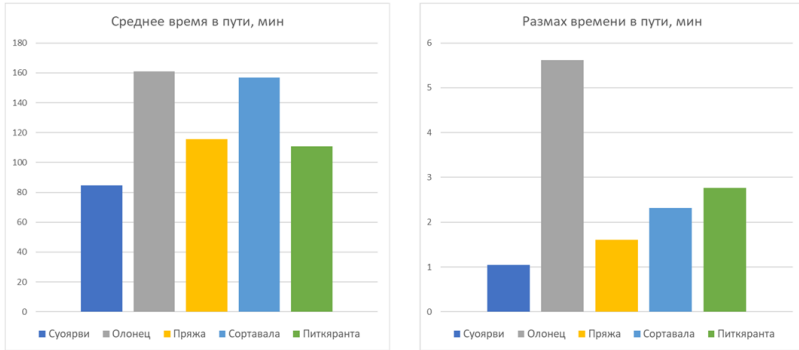


Рис. 7. Среднее время в пути, мин  
Fig. 7. Average travel time, min

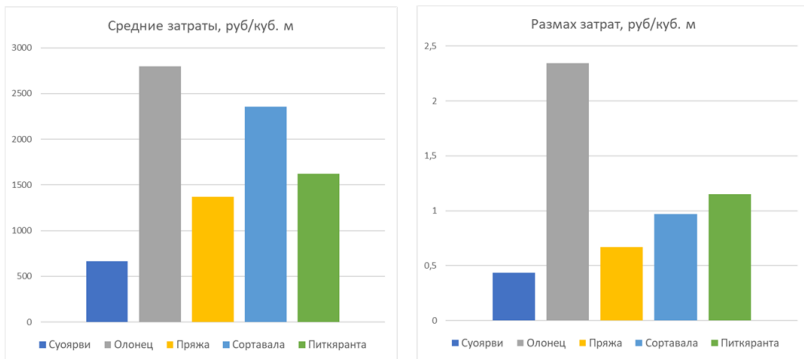


Рис. 8. Удельные затраты, руб./куб. м  
Fig. 8. Specific costs, rub/cub. m

Наличие более чем восьмикратного превышения доступного объема сырья над потребным (табл. 2) позволяет рассмотреть альтернативные варианты организации снабжения рассматриваемого нового предприятия древесиной. Наибольшие удельные транспортные затраты реализуются при доставке древесины из Олонецкого и Сортавальского лесничеств (табл. 3, рис. 8). Исключим указанные лесничества из числа поставщиков, передав соответствующие объемы поставок в Суоярвское лесничество, учитывая, что там самые низкие удельные транспортные затраты. Распределение поставок по лесничествам для этого сценария показано на рис. 9.

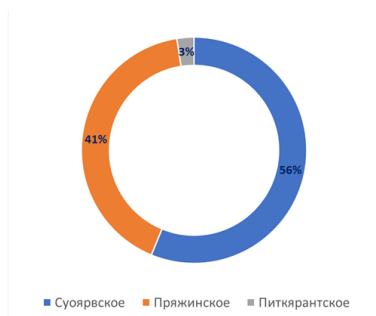


Рис. 9. Распределение поставок сырья для сценария «Три лесничества»

Fig. 9. Distribution of raw material supplies for the “Three Forestry Areas” scenario

Результаты имитационного моделирования перевозок в соответствии со сценарием «Три лесничества» приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты моделирования («Три лесничества»)**

**Simulation results (“Three Forestry Areas”)**

Лесничество	Годовые поставки, тыс. куб. м	Среднее расстояние транспортировки, км	Эксплуатационная скорость, км/ч	Размах скорости, км/ч	Суммарное время работы автомобилей, тыс. час	Годовой пробег, тыс. км	Удельные затраты руб./куб. м	Годовые затраты, млн руб.
Суоярвское	117,99	41,7	29,6	0,36	226,8	111,75	668	78,81
Пряжинское	86,87	89,0	46,1	0,64	228,4	175,65	1371	119,07
Питкярантское	5,14	106,5	57,6	1,43	13,0	12,44	1624	8,35
Сумма/Среднее	210	–	37,1	–	468,2	299,84	982	206,23

Использование данного варианта позволяет сократить транспортные затраты на 24,6%, что составляет 986,06 руб. на 1 куб. м перевезенной древесины, а в годовом выражении приведет к экономии 67,15 млн руб. При этом суммарный годовой пробег автомобилей-сортиментовозов на рассматриваемых перевозках сократится на 103 тыс. км, или на 25,6%. Т. к. средняя эксплуатационная скорость в этом случае снижается на 13,8% (примерно на 6 км/ч), суммарное время работы всех автомобилей уменьшается не на 25, а только на 10,6%.

Принимая во внимание, что в предыдущем сценарии возможности по поставкам сырья из Суоярвского лесничества используются только на 16,2% (117,99 тыс. куб. м из доступных 728,2), рассмотрим сценарий с максимальным использованием этого лесничества. Запланируем 75% поставок сырья из самого выгодного Суоярвского лесничества. Источником остальных 25% сделаем соседнее Пряжинское лесничество. Питкярантское лесничество исключим из рассмотрения.

Результаты имитационного моделирования перевозок в соответствии со сценарием «Два лесничества» приведены в табл. 5.

Таблица 5

## Результаты моделирования («Два лесничества»)

## Simulation results (“Two Forestry Areas”)

Лесничество	Годовые поставки, тыс. куб. м	Среднее расстояние транспортировки, км	Эксплуатационная скорость, км/ч	Размах скорости, км/ч	Суммарное время работы автомобилей, тыс. час	Годовой пробег, тыс. км	Удельные затраты руб./куб. м	Годовые затраты, млн руб.
Суоярвское	157	41,7	29,6	0,36	301,8	148,70	668	104,87
Пряжинское	53	89,0	46,1	0,64	139,4	107,17	1371	72,65
Сумма/Среднее	210	–	33,7	–	441,2	255,87	845	177,52

*Заключение.* Сравнительные показатели всех трех рассмотренных сценариев приведены в табл. 6.

Таблица 6

## Сравнение сценариев

## Comparison of scenarios

Показатель	Пять лесничеств (базовый)	Три лесничества			Два лесничества		
		Значение	Разница	%	Значение	Разница	%
Удельные затраты, руб/куб.м	1301,83	982,06	319,77	–24,6	845,33	456,5	–35,1
Годовые затраты, млн.руб	273,38	206,23	67,15	–24,6	177,52	95,86	–35,1
Средняя скорость, км/ч	43,02	37,1	5,92	–13,8	33,7	9,32	–21,7
Суммарное время работы автомобилей в год, тыс. час	524	468,24	55,76	–10,6	441,22	82,78	–15,8
Годовой пробег, тыс. км	402,9	299,84	103,06	–25,6	255,86	147,04	–36,5

Использование сценария «Два лесничества» позволяет сократить транспортные затраты на 35,1%. При этом удельные затраты сокращаются на 456,5 руб./куб. м, а годовая экономия составит 95,86 млн руб. Годовой пробег также снижается более чем на треть и составляет 255,86 тыс. км. против 402,9 в базовом варианте.

За счет роста доли лесных и грунтовых дорог в используемых маршрутах средняя эксплуатационная скорость снижается на 21,7% по отношению к базовому варианту (на 9,32 км/час: с 43,02 до 33,7). По этой причине суммарное годовое время работы всех автомобилей сокращается только на 15,8%, т. е. на 82,78 тысяч часов.

Таким образом, в рассматриваемых условиях предпочтительным видится использование третьего сценария, в котором поставки сырья осуществляются из двух лесничеств – Суоярвского и Пряжинского.

Хотя наличествующие объемы древесины и позволяют осуществить снабжение предприятия сырьем только за счет Суоярвского лесничества, такой вариант менее целесообразен, так как наличие древесины на корню еще не говорит о наличии в районе достаточных мощностей по ее заготовке. Кроме того, желательно осуществлять заготовку древесины по возможности равномерно на всех территориях, а в условиях смешанных лесов как раз и возникают проблемы со сбытом низкосортной лиственной древесины. Поэтому для обеспечения устойчивости функционирования производственной логистической системы в долгосрочной перспективе желательно диверсифицировать поставки. Это позволит сократить риски недопоставки, нарушения сроков, неоправданного роста цен и т. д.

В случае увеличения объемов производства в будущем стоит вернуться к этому вопросу и, возможно, привлечь к поставкам другие лесничества.

*Конфликт интересов.* Автор заявляет 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: мат. Межд. науч.-практ. конф. Вологда, 2004. С. 286–289.

Информация о компании «Форест-Тревел» // Ассоциация производителей машин и оборудования лесопромышленного комплекса Лестех. URL: <https://alestech.ru/factory/1076-forest-trevel> (дата обращения: 15.01.2026).

Карельский лес идёт в цифру // Лесной Регион. 2025. №17-18. С. 369–370.

*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.

Сергеева Т.В., Гилязова Т.А., Рукомойников К.П. Результаты имитационного моделирования работы харвестера при выборочных рубках леса // Лесной вестник. 2024. Т. 28, № 2. С. 136–149.

Соколов А.П. Имитационное моделирование процессов заготовки древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 245. С. 244–260. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.244-260.

Соколов А.П. Оценка эффективности организации транспортных потоков на перевозках древесины // Лесотехнический журнал. 2025. №1. С. 129–137. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2025.1/8.

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.

Шведовский П.В., Клебанюк Д.Н. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 616 с.

Шегельман И.Р., Будник П.В. О возможности создания производства товарной беленой химико-гермомеханической массы в Республике Карелия // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1. Ст. 2801.

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. 2. P. 143-167. DOI: 10.1080/14942119.2022.2142367.

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. DOI: 10.1088/1757-899X/1001/1/012031.

Ivanov D. Structural Dynamics and Resilience in Supply Chain Risk Management. Springer Cham, 2018. 320 p. DOI: 10.1007/978-3-319-69305-7.

## 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. 2, pp. 143–167. DOI: 10.1080/14942119.2022.2142367.

Gerasimov Yu.Yu., Perskiy S.N. Simulation model of clearcuts based on GIS technologies. *Modeling, optimization and intensification of production processes and systems*: proceedings of the Int. sci.-pract. conf. Vologda, 2004, pp. 286–289. (In Russ.)

Information about the company “Forest-Travel”. *Association of manufacturers of machinery and equipment for the forestry complex Lestekh*. URL: <https://alestech.ru/factory/1076-forest-trevel> (accessed January 15, 2026). (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. DOI: 10.1088/1757-899X/1001/1/012031.

*Ivanov D.* Structural Dynamics and Resilience in Supply Chain Risk Management. Springer Cham, 2018. 320 p. DOI: 10.1007/978-3-319-69305-7.

Karelian forests go digital. *Forest Region*, 2025, no. 17–18, pp. 369–370. (In Russ.)

*Legkiy 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.)

*Sergeeva T.V., Gilyazova T.A., Rukomoynikov K.P.* Results of harvester simulated service test during selective logging. *Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 136–149. (In Russ.)

*Shegelman I.R., Budnik P.V.* On the production possibility of chemical-thermomechanical pulp in the Republic of Karelia. *Inzhenerny vestnik Dona*, 2015, no. 1, art. no. 2801. (In Russ.)

*Shvedovskiy 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 Lesotehniceskoy Akademii*, 2023, iss. 245, pp. 244–260. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.244-260. (In Russ.)

*Sokolov A.P.* Estimation of the supply chains efficiency in wood transportation. *Forestry Engineering Journal*, 2025, no. 1, pp. 129–137. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2025.1/8. (In Russ.)

*Sokolov A.P., Shain V.A., Tukuser D.I.* Simulation model for the analysis of traffic flows in timber transportation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 178–190. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.178-190. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 16.04.2025*

---

**Соколов А.П.** Анализ вариантов организации снабжения сырьем вновь создаваемого предприятия по переработке низкотоварной лиственной древесины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 323–337. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.323-337

С помощью разработанной автором имитационной модели транспортных потоков на перевозках древесины, реализованной в среде ПО AnyLogic и использующей сочетание агентного и дискретно-событийного моделирования, был выполнен анализ вариантов организации снабжения сырьем вновь создаваемого предприятия по переработке низкотоварной лиственной древесины. Новое предприятие предназначено для производства беленой химико-

термомеханической массы, которая в дальнейшем будет использоваться для выпуска бумажной посуды, картонной упаковки, салфеток и др. Сравнение различных альтернативных сценариев, базирующихся на вовлечении в цепочки поставок разного числа лесничеств, расположенных в относительной близости от проектируемого предприятия, позволяет прийти к выводу, что предпочтительным является использование сценария, в котором поставки сырья осуществляются из двух лесничеств – Суоярвского и Пряжинского.

**Ключевые слова:** транспорт леса, поставки древесины, имитационное моделирование, сети дорог, интенсивность дорожного движения, транспортные затраты, автомобили-сортиментовозы.

**Sokolov A.P.** Analysis of raw materials supply options for the newly established enterprise for low-grade hardwood processing. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnikeskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 323–337 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.323-337

Using the simulation model of transportation flows for timber transportation, developed by the author and implemented in the AnyLogic software environment, which employs a combination of agent-based and discrete-event modeling, an analysis was conducted on various options for organizing the supply of raw materials for the newly established enterprise focused on processing low-grade hardwood. This new facility is intended for the production of bleached chemical-thermomechanical mass, which will subsequently be utilized for the manufacture of paper dishes, cardboard packaging, napkins, and more. A comparison of different alternative scenarios, based on the involvement of varying numbers of forestry areas located in relative proximity to the planned facility, leads to the conclusion that the preferred scenario is one in which raw material supplies are sourced from two forestry enterprises – Suoyarvsky and Pryazinsky.

**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, профессор, доктор технических наук. 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 the Department of transport and production machines and equipment, Petrozavodsk State University, Professor. SPIN-code: 9742-7110. ORCID: 0000-0002-0798-4634.

185910. Lenina av. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: a\_sokolov@psu.karelia.ru

**К.П. Рукомойников, Е.М. Царев, А.П. Мохирев, М.Н. Волдаев**

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
СТРУКТУРЫ ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНЫХ  
И МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ  
В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ ЗАПАДА**

*Введение.* Лесотранспортные потоки играют ключевую роль в обеспечении устойчивого развития лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса. Они включают в себя перемещение древесины от мест заготовки до пунктов переработки или экспорта, что требует эффективной организации транспортной инфраструктуры. Моделирование таких потоков позволяет оптимизировать логистику, снизить затраты и минимизировать экологический ущерб. В условиях сложившейся геополитической ситуации и финансово-экономических вызовов актуальность моделирования лесотранспортных потоков возрастает, так как оно становится инструментом для повышения конкурентоспособности отрасли и обеспечения ее устойчивости. В данной статье рассматриваются подходы к моделированию внутри- и межрегиональных лесотранспортных потоков РФ, их особенности и практическое применение, а также проводится краткий анализ современных научных исследований в этой области.

В настоящее время лесопромышленный комплекс РФ сталкивается с рядом вызовов, которые делают моделирование лесотранспортных потоков особенно актуальным:

- Геополитическая ситуация. Санкционное давление на Россию привело к необходимости переориентации экспортных потоков древесины на новые рынки, такие как Китай, Индия и страны Ближнего Востока. Это требует перестройки логистических цепочек и оптимизации межрегиональных транспортных потоков;
- Финансово-экономические вызовы. Рост затрат на топливо, оборудование и рабочую силу увеличивает себестоимость лесной продукции. Моделирование позволяет минимизировать транспортные издержки, что особенно важно в условиях экономической нестабильности;
- Экологические требования. Глобальные тренды в области устойчивого развития и экологической ответственности требуют учета экологических ограничений при планировании транспортных потоков. Это включает минимизацию выбросов углекислого газа и защиту биоразнообразия;

- Развитие инфраструктуры. Недостаточная развитость транспортной инфраструктуры в лесных регионах России является серьезным ограничением для развития отрасли. Моделирование помогает определить приоритетные направления для инвестиций в строительство и модернизацию дорог.

Таким образом, моделирование лесотранспортных потоков становится важным инструментом для адаптации лесопромышленного комплекса к новым условиям и обеспечения его устойчивого развития.

*Материалы и методика исследования.* В ходе работы над статьей авторы придерживались четкой методологической схемы, включающей несколько взаимосвязанных этапов. Основой исследования стал системный подход к анализу транспортных потоков лесоматериалов с учетом современных вызовов.

На первом этапе проводился сбор и обработка статистических данных. Источниками информации послужили: официальные отчеты Федерального агентства лесного хозяйства; статистика внешней торговли ФТС России; оперативные данные РЖД о грузоперевозках; региональные программы развития лесопромышленного комплекса.

Особое внимание уделялось анализу изменений в структуре экспортных поставок после 2022 г. Авторы проверяли согласованность данных из разных источников, выявляя возможные расхождения.

Для России были выделены следующие общие задачи моделирования лесотранспортных потоков:

- Оптимизация маршрутов транспортировки с учетом расстояний, состояния дорог и транспортных средств;
- Минимизация затрат на логистику, включая топливные расходы, оплату труда и эксплуатацию техники;
- Учет экологических ограничений, таких как защита особо охраняемых природных территорий;
- Прогнозирование объемов перевозок на основе данных о лесных ресурсах и спросе на продукцию;
- Оценка влияния инфраструктурных изменений, таких как строительство новых дорог или модернизация существующих.

Основные особенности моделирования внутрирегиональных потоков лесоматериалов включают:

- Учет локальных факторов, таких как сезонность заготовки древесины и доступность транспортных средств;
- Оптимизация использования местных дорог и транспортных средств;

- Минимизация воздействия на окружающую среду, включая защиту водных ресурсов и биоразнообразия.

Межрегиональные потоки требуют учета более сложных факторов, таких как:

- Дальние расстояния и необходимость использования различных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, водного);
- Таможенные и логистические ограничения при экспорте;
- Влияние межрегиональной конкуренции на объемы перевозок;
- Учет глобальных тенденций, таких как изменение спроса на мировом рынке древесины.

*Результаты исследования.* В табл. 1 представлен комплексный анализ лесопромышленного комплекса России по основным федеральным округам в новых экономических условиях [АСМАП..., 2025; Ванинский..., 2025; Грузовые..., 2025; Министерство..., 2025; Минпромторг..., 2025; Федеральное..., 2025; ФТС..., 2025]. Анализ предложенной таблицы позволяет сделать ряд ключевых выводов, характерных для округов РФ:

1. Наличие сырьевой зависимости округов. В частности, Сибирский федеральный округ (СФО) и Дальневосточный федеральный округ (ДФО) экспортируют преимущественно кругляк (60-75%), тогда как Центральный и Приволжский федеральные округа (ЦФО и ПФО) концентрируются на экспорте древесной продукции глубокой переработки;

2. Наличие транспортного дисбаланса, предусматривающего прохождение 80% экспорта через 3 округа: Северо-Западный (СЗФО), СФО и ДФО;

3. Наибольшие риски санкционных потерь – у СЗФО (ЕС) и ДФО (Япония/Корея);

4. Инфраструктурные приоритеты развития округов предусматривают необходимость железнодорожных транспортных перевозок лесоматериалов в СФО/ДФО, портовых мощностей в СЗФО и Южном федеральном округе (ЮФО), логистических хабов в Уральском федеральном округе (УФО) и ПФО.

*Обсуждение.* Анализ современных научных исследований показывает, что моделирование лесотранспортных потоков является активно развивающейся областью. Многие российские [Герасимова и др., 2019; Мохирев, Рукомойников, 2022; Гордеев, Пыжев, 2023] и зарубежные [Dean, 1997; Wunder et al., 2021] ученые внесли значительный вклад в разработку методов и подходов к решению этой задачи.

Таблица 1

Анализ транспортных потоков лесоматериалов в федеральных округах РФ с учетом санкций (2024–2025 гг.).  
 Analysis of timber transport flows in the federal districts of the Russian Federation, taking into account sanctions (2024–2025)

Федеральный округ (источник информации)	Лесной фонд, млн га	Объём заготовки, млн м³	Доля в экспорте РФ, %	Основные породы	Глубина переработки	Прежние рынки сбыта	Основные экспортные направления	Логистические маршруты	Ключевые проблемы	Перспективные решения	Инфраструктурные проекты
СЗФО	230	55	25	Сосна, ель, берёза	Средняя (шпона-риалы 45%, фанера 20%)	Финляндия, ЕС, Китай	Китай, Узбекистан, Казахстан, Турция, Египет, ОАЭ, Индия	Ж/д в Китай через Казахстан; морские порты (Усть-Луга, Архангельск), речные порты (Северная Двина)	Потеря рынка ЕС, санкции на судостроение, удорожание перевозок	Развитие арктических портов, увеличение перевалки через Усть-Лугу, диверсификация экспорта	Модернизация порта Усть-Луга (2023), развитие Архангельского транспортного узла, строительство ж/д ветки Белкомур
СФО	315	78	35	Лиственница, сосна, кедр	Низкая (дрюглык 60%)	Китай, ЕС, Япония, Корея	Китай, Казахстан, Узбекистан, Турция, ОАЭ, Индия	Ж/д в Китай (Забайкальск) и Среднюю Азию; речной транспорт (Винейск, Обь); порты ДВ (Ванно)	Очереди на границе с Китаем, дефицит ж/д вагонов, высокие тарифы РЖД	Строительство новых ж/д терминалов, развитие речной логистики, создание перевалочных хабов	Расширение Забайкальского перехода (2026), развитие порта Ванно (+30% мощностей к 2027)
ДФО	510	42	20	Лиственница, дуб, ясень	Очень низкая (кругляк 75%)	Китай, Япония, Корея	Китай, Вьетнам, Малайзия, Индия	Морские порты (Ванно, Владивосток); ж/д в Китай (Суифэньхэ)	Давление Китая по сертификации, санкции на флот, нехватка мощностей портов	Модернизация портовой инфраструктуры, поиск альтернативных рынков в Юго-Восточной Азии	Расширение порта Владивосток (2025-2030), модернизация Транссиба, развитие Северного морского пути (СМП)
УФО	85	28	12	Сосна, берёза, осина	Средняя (шпона-риалы 50%, ДСП 15%)	Казахстан, ЕС, Китай	Казахстан, Узбекистан, Иран, Турция, Китай	Ж/д в Среднюю Азию и Китай; автотранспорт в Казахстан	Неразвитость портовой инфраструктуры, зависимость от ж/д	Развитие мультимодальных перевозок, сотрудничество с Каспийскими портами	Строительство логистических центров в Челябинске (2025), развитие ж/д узла Екатеринбург
ПФО	65	22	8	Сосна, ель, липа	Высокая (мебель 25%, фанера 30%)	ЕС, Казахстан, Турция	Турция, Иран, Азербайджан, Казахстан	Ж/д через Кавказ; речной транспорт (Волга) в Каспий	Санкции на платежи, слабая морская логистика	Развитие каспийской логистики, увеличение переработки древесины	Модернизация портов на Волге (2025-2027), создание терминала в Нижнем Новгороде
ЦФО	45	15	5	Сосна, дуб, берёза	Очень высокая (мебель 40%, шпиглы 25%)	ЕС, Беларусь, Украина	Беларусь, Турция, Сербия	Ж/д в Беларусь и на Кавказ	Высокие логистические издержки, удаленность от лесных регионов	Оптимизация внутренних поставок, развитие деревообработки	Развитие логистических парков в Московской области (2025–2028)
ЮФО	30	8	3	Дуб, бук, граб	Средняя (шпона-риалы 40%, мебель 15%)	Турция, Египет, ЕС	Турция, Египет, Грузия	Морские порты (Новороссийск), ж/д в Азербайджан	Риски в Черном море, ограничения на грузы в Турцию	Поиск альтернативных морских маршрутов, развитие сухопутных коридоров	Расширение порта Новороссийск (+20% к 2026), развитие ж/д направления на Азербайджан

Современные исследования в области моделирования лесотранспортных потоков демонстрируют значительный прогресс, однако в условиях санкционной политики в отношении РФ выявляются существенные недоработки. Большинство моделей, описанных в литературе, не учитывает резкие изменения логистических цепочек, вызванные санкциями, что снижает их практическую применимость. Например, работы [Крупко и др., 2013; Бурмистрова и др., 2018; Рукомойников, Мохирев, 2019; Гулин и др., 2024] фокусируются на оптимизации маршрутов и использовании интеллектуальных транспортных систем, но не рассматривают необходимость переориентации экспортных потоков с ЕС на новые рынки, такие как Китай и страны Ближнего Востока. Это ограничивает их актуальность в текущих геополитических условиях.

Модели, описанные в работе [Гулин и др., 2024], требуют детальных данных о состоянии дорожной сети и объемах перевозок, которые в условиях санкций становятся менее доступными. Например, в СЗФО и ДФО отсутствие актуальной информации о состоянии лесных дорог и портовой инфраструктуры затрудняет прогнозирование. Можно отметить, что 80% экспорта зависит от трех округов, что повышает риски при санкциях на ключевые порты (Усть-Луга, Ванино). Модели для СФО и ДФО ориентированы на экспорт кругляка, что противоречит стратегии глубокой переработки, актуальной в условиях санкций.

Существующим моделям транспортировки лесных ресурсов свойственен упрощенный учет экологических и геополитических факторов. В частности, методологии, предложенные [Мохирев, Дудин, 2024], не всегда интегрируют экологические ограничения (например, защиту водных объектов вблизи Байкала) и динамику изменения торговых отношений с Китаем. Это снижает их применимость для долгосрочного планирования.

Для используемых в настоящее время моделей анализируемого функционального назначения характерны проблемы адаптации к изменяющейся геополитической ситуации. Большинство моделей, включая работы [Сушков и др., 2014], не предусматривают механизмы оперативной корректировки маршрутов при изменении санкционного режима или новых логистических ограничений, таких как запрет на судоходство в Черном море. Санкции привели к необходимости перестройки логистических цепочек, что требует гибкости моделей. Однако, как отмечают [Гордеев, Пыжев, 2023], большинство существующих моделей, включая те, что описаны в статье [Ригин, Гулин, 2019], не способны оперативно адаптироваться к изменениям в торговых отношениях, например, с Китаем. Высокая вычисли-

тельная сложность и стоимость внедрения таких моделей также остаются критическими проблемами, особенно для регионов с ограниченными ресурсами, таких как Сибирский и Дальневосточный федеральные округа. Модели не адаптированы для работы с альтернативными маршрутами через Каспий и СМП, которые стали критически важными после 2022 г. [Мохи́рев, Дудин, 2024; Gordeev, 2020].

В работах [Сушков и др., 2014; Рукомойников и др., 2020] подчеркивается важность учета экологических ограничений и состояния дорожной сети. Однако эти исследования не предлагают эффективных решений для минимизации экологического ущерба при вынужденном увеличении нагрузки на альтернативные транспортные маршруты, такие как железнодорожные и речные пути. Например, в ДФО сезонные изменения дорожной сети из-за муссонных дождей осложняют логистику, но существующие модели не всегда учитывают эти факторы [Мохи́рев, Рукомойников, 2022].

Таким образом, существующие имитационные модели демонстрируют потенциал для оптимизации логистики, но их реализация затруднена, так как эти модели часто не учитывают новые риски, такие как ограничения на платежи или санкции на судоходство, которые критически важны для портовых регионов, например, СЗФО. Существующие модели требуют значительной доработки для соответствия постсанкционным реалиям. Ключевыми направлениями должны стать гибкость, интеграция мультимодальных маршрутов и акцент на глубокую переработку сырья.

Для достижения совершенства в области моделирования лесотранспортных потоков необходимо учитывать специфику каждого региона России. Можно выделить ряд общих недостатков существующих исследований, которые создают препятствия на пути активной реализации моделей лесотранспортных потоков и их связь с регионами РФ, и определить пути их возможного решения. В частности, к числу таких факторов можно отнести недостаток данных о состоянии дорожной сети и объемах перевозок. В разрезе округов РФ:

- СЗФО: В Архангельской области и Республике Карелия необходимо учитывать изменения в экспортных потоках из-за санкций и переориентации на новые рынки. В этих округах характерно отсутствие точных данных о состоянии лесных дорог, что затрудняет планирование транспортных маршрутов. Это особенно важно для экспортных потоков древесины через порты Архангельска и Усть-Луги. В Ленинградской области и Республике Карелия необходимо учитывать экологические ограничения вблизи Онеж-

ского озера и других водных объектов, а также оптимизировать методы сбора данных о состоянии лесных дорог и объемах перевозок. Это позволит повысить точность моделей. Необходимо разработать комплексные модели, учитывающие изменения в экспортных потоках с учетом изменений на мировом рынке и экологические ограничения при разработке маршрутов транспортных перевозок лесоматериалов;

- СФО: в Красноярском крае и Иркутской области изменения в торговых отношениях с Китаем требуют адаптации моделей. Удаленность лесных ресурсов от перерабатывающих предприятий требует точных данных о состоянии дорог и речных путей. В Иркутской области и Республике Бурятия экологические ограничения вблизи озера Байкал требуют особого подхода к планированию транспортных потоков. Необходимо разработать методы сбора данных о состоянии речных путей и железнодорожной инфраструктуры. Это поможет снизить затраты на транспортировку древесины. Необходимо разработать комплексные модели, учитывающие изменения в торговых отношениях с Китаем и экологические ограничения;

- ДФО: в Приморском и Хабаровском краях необходимо учитывать изменения в экспортных потоках в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Здесь же недостаток данных о сезонных изменениях дорожной сети (например, из-за муссонных дождей) осложняет логистику. В Амурской области экологические ограничения вблизи реки Амур осложняют развитие транспортной инфраструктуры. Необходимо разработать методы сбора данных о сезонных изменениях дорожной сети. Это позволит минимизировать риски, связанные с климатическими условиями. Нужно создать комплексные модели, учитывающие изменения в экспортных потоках в страны АТР и сезонные изменения.

Перспективные направления для повышения устойчивости моделей к санкционному давлению западных стран должны предусматривать:

1. Интеграцию данных ГИС в реальном времени;
2. Развитие агент-ориентированных подходов с учетом динамики санкций, например, методы, описанные [Гулин и др., 2024];
3. Учет опыта зарубежных исследований, таких как работа [van Kooten, Schmitz, 2022], по адаптации цепочек поставок в кризисных условиях.

*Заключение.* Моделирование структуры внутри- и межрегиональных лесотранспортных потоков является важным инструментом повышения эффективности лесопромышленного комплекса. Оно позволяет учитывать множество факторов, начиная от экономических и заканчивая экологиче-

скими, и находить оптимальные решения для устойчивого развития отрасли. Внедрение современных методов моделирования способствует не только снижению затрат, но и минимизации негативного воздействия на окружающую среду, что особенно важно в условиях растущих требований к экологической безопасности.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на разработку более точных и комплексных моделей, а также на интеграцию новых технологий, таких как искусственный интеллект и блокчейн. Это позволит повысить эффективность управления лесотранспортными потоками и обеспечить устойчивое развитие лесного хозяйства в долгосрочной перспективе.

Рекомендации:

1. Ускорение программ глубокой переработки древесины в СФО/ДФО;
2. Развитие альтернативных маршрутов через Каспий и Северный морской путь;
3. Стимулирование внутреннего потребления в ЦФО;
4. Координация межрегиональных поставок сырья и полуфабрикатов

Санкции переформатировали всю логистику транспортных сообщений лесной отрасли России. ЕС исключен из торговой цепочки лесоматериалами, Китай стал ключевым, но ненадежным лесосырьевым партнером. Железная дорога и морские порты – главные транспортные пути лесного комплекса РФ. Ключевой задачей стало перераспределение потоков и развитие инфраструктуры. Среди перспективных направлений развития структуры внутри- и межрегиональных лесотранспортных потоков в условиях санкционного давления Запада для развития системы моделирования можно выделить развитие внутренней переработки (меньше сырья, больше готовой продукции), углубленный акцент на взаимодействие с новыми рынками сбыта, такими как Индия, Ближний Восток, Африка, инвестиции в развитие лесных портов, железнодорожных и речных путей сообщения.

Существующие модели лесотранспортных потоков требуют значительной доработки для соответствия новым экономическим и геополитическим реалиям. Необходимы:

1. Гибкие методологии, способные учитывать динамичные изменения рынков сбыта и логистических маршрутов;
2. Интеграция данных о состоянии инфраструктуры и экологических ограничениях в режиме реального времени;
3. Развитие отечественных инструментов моделирования, не зависящих от санкционных ограничений.

*Вклад авторов.* Статья подготовлена с равной долей участия всех авторов.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Красноярского краевого фонда науки № 25-11-20033, <https://rscf.ru/project/25-11-20033/>.

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

### **Библиографический список**

АСМАП. Ассоциация международных автомобильных перевозчиков, URL: <https://asmap.ru> (дата обращения: 22.04.2025).

*Бурмистрова О.Н., Черников Э.А., Пильник Ю.Н., Чемишкова Ю.М.* К вопросу совершенствования транспортных грузопотоков лесоматериалов в условиях интеллектуальных транспортных систем // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, №3 (31). С. 131–138. DOI: 10.12737/article\_5b97a15c4ef7d3.26143418.

Ванинский морской торговый порт. URL: <https://portvanino.ru> (дата обращения: 22.04.2025)

*Герасимова М.М., Медведев С.О., Мохирев А.П., Рукомойников К.П.* Оптимизация материальных потоков лесозаготовительного предприятия на основе теории графов // Логистика и управление цепями поставок. 2019. №6 (95). С. 50–57.

*Гордеев Р.В., Пыжьев А.И.* Лесная промышленность России в условиях санкций: потери и новые возможности // Вопросы экономики. 2023. №4. С. 45–66. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-4-45-66\_

Грузовые перевозки // РЖД. URL: <https://cargo.rzd.ru> (дата обращения: 22.04.2025).

*Гулин К.А., Дианов С.В., Алферьев Д.А., Дианов Д.С.* Методология агентного моделирования развития территориальных систем лесозаготовительного производства // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2024. Т. 17, № 6. С. 184–203.

*Крупко А.М., Воронин И.А., Крупко Н.С.* Моделирование движения лесных грузов по комбинированным транспортным сетям // Инженерный вестник Дона. 2013. №4 (27). С. 92.

Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. URL: <https://minvr.gov.ru> (дата обращения: 22.04.2025)

Минпромторг России. URL: <https://minpromtorg.gov.ru> (дата обращения: 22.04.2025)

*Мохирев А.П., Дудин П.О.* Использование имитационного моделирования в планировании эффективных решений межрегиональных лесотранспортных потоков // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: мат. IX Всерос. науч.-тех. конф. СПб., 2024. С. 336–339.

*Мохирев А.П., Рукомойников К.П.* Моделирование структуры лесотранспортных потоков. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2022. 396 с.

Ригин В.А., Гулин К.А. Инструменты построения имитационной модели регионального лесного комплекса на основе применения агент-ориентированного подхода // Проблемы развития территории. 2019. №1 (99). С. 56–70. DOI: 10.15838/ptd.2019.1.99.4.

Рукомойников К.П., Мохирев А.П. Обоснование технологической схемы лесозаготовительных работ путем создания динамической модели функционирования предприятия // ИВУЗ. Лесной журнал. 2019. №4 (370). С. 94–107. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94.

Рукомойников К.П., Мохирев А.П., Медведев С.О., Дербенева Е.Ю. Отдельные особенности имитационного моделирования технологического процесса вывозки древесины // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 10(112). С. 104–107.

Сушков А.С., Бурмистрова О.Н., Пильник Ю.Н. Моделирование процессов формирования лесных транспортных потоков и размещения пунктов переработки древесины // Строительные и дорожные машины. 2014. № 8. С. 54–55.

Федеральное агентство лесного хозяйства. URL: <https://rosleshoz.gov.ru> (дата обращения: 22.04.2025).

ФТС России. Статистика внешней торговли. URL: <https://customs.gov.ru/statistic> (дата обращения: 22.04.2025).

Dean D.J. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques // Can. J. For. Res. 1997. Vol. 27. P. 11–22. DOI: 10.1139/x96-144.

Gordeev R. V. Comparative advantages of Russian forest products on the global market // Forest Policy and Economics. 2020. Vol. 119. Art. no. 102286. DOI: 10.1016/j.forpol.2020.102286.

Van Kooten G. C., Schmitz A. COVID-19 impacts on U.S. lumber markets // Forest Policy and Economics. 2022. Vol. 135. Art. no. 102665. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102665.

Wunder S., Kaimowitz D., Jensen S., Feder S. Coronavirus, macroeconomy, and forests: What likely impacts? // Forest Policy and Economics. 2021. Vol. 131. Art. no. 102536. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102536.

## References

АСМАР. Association of International Road Carriers. URL: <https://asmap.ru>. (accessed April 22, 2025). (In Russ.)

Cargo transportation. Russian Railways. URL: <https://cargo.rzd.ru> (accessed April 22, 2025). (In Russ.)

Dean D.J. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques. *Can. J. For. Res.*, 1997, vol. 27, pp. 11–22. DOI: 10.1139/x96-144.

Federal customs service. Customs statistics. URL: <https://customs.gov.ru/statistic> (accessed April 22, 2025). (In Russ.)

Federal Forestry Agency. URL: <https://rosleshoz.gov.ru> (accessed April 22, 2025). (In Russ.)

*Gerasimova M.M., Medvedev S.O., Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P.* Material flow optimization of a logging enterprise based on graph theory. *Logistics and supply chain management*, 2019, no. 6 (95), pp. 50-57. (In Russ.)

*Gordeev R.V.* Comparative advantages of Russian forest products on the global market. *Forest Policy and Economics*, 2020, vol. 119, art. no. 102286. DOI: 10.1016/j.forpol.2020.102286.

*Gordeev R.V., Pyzhev A.I.* The timber industry in Russia under sanctions: Losses and opportunities. *Voprosy Ekonomiki*, 2023, no. 4, pp. 45-66. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-4-45-66. (In Russ.)

*Gulin K.A., Dianov S.V., Alferyev D.A., Dianov D.S.* Agent-based modeling methodology for the development of territorial logging systems. *Economic and social changes: facts, trends, forecast*, 2024, vol. 17, no. 6, pp. 184–203. DOI: 10.15838/esc.2024.6.96.10. (In Russ.)

*Krupko A.M., Voronin I.A., Krupko N.S.* The modeling of logging timber freights by combine transport network. *Engineering Bulletin of the Don*, 2013, no. 4 (27), p. 92.

Ministry of the Russian Federation for the Development of the Far East and the Arctic. URL: <https://minvr.gov.ru> (accessed April 22, 2025).

Minpromtorg RF. URL: <https://minpromtorg.gov.ru> (accessed April 22, 2025). (In Russ.)

*Mokhirev A.P., Dudin P.O.* Use of simulation modeling in planning effective solutions for interregional forest transport flows. *Forests of Russia: policy, industry, science, education: proceedings of the IX All-Russ. sci.-tech. conf.* St. Petersburg, 2024, pp. 336–339. (In Russ.)

*Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P.* Modeling the structure of timber transport flows. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2022. 396 p. (In Russ.)

*Rigin V.A., Gulin K.A.* Tools for building a simulation model of the regional timber complex based on the agent-based approach. *Problems of Territory's Development*, 2019, no. 1 (99), pp. 56–70. DOI: 10.15838/ptd.2019.1.99.4. (In Russ.)

*Rukomoynikov K.P., Mokhirev A.P.* Validation of the Logging Operations Scheme through the Creation of Dynamical Model of the Enterprise Functioning. *Lesnoy Zhurnal*, 2019, no. 4, pp. 94–107. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94. (In Russ.)

*Rukomoynikov K.P., Mokhirev A.P., Medvedev S.O., Derbeneva E.Yu.* Some features of simulation of the wood removal process. *Science and Business: Development Paths*, 2020, no. 10 (112), pp. 104–107. (In Russ.)

*Sushkov A.S., Burmistrova O.N., Pilnik Yu.N.* Modeling of optimum formation of forest transport streams and placement of points of processing of wood. *Construction and road machines*, 2014, no. 8, pp. 54–55. (In Russ.)

*Burmistrova O.N., Chernikov E.A., Pilnik Yu.N., Chemshikova Yu.M.* To the question of improvement of transport freight traffics of forest products in the conditions of the intellectual transport systems. *Lesnoy Zhurnal*, 2018, vol. 8, no. 3 (31), pp. 131-138. DOI: 10.12737/article\_5b97a15c4ef7d3.26143418. (In Russ.)

*Van Kooten G.C., Schmitz A. COVID-19 impacts on U.S. lumber markets. Forest Policy and Economics, 2022, vol. 135, art. no. 102665. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102665.*

*Vanino Commercial Sea Port. URL: <https://portvanino.ru> (accessed April 22, 2025). (In Russ.)*

*Wunder S., Kaimowitz D., Jensen S., Feder S. Coronavirus, macroeconomy, and forests: What likely impacts? Forest Policy and Economics, 2021, vol. 131, art. no. 102536. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102536.*

*Материал поступил в редакцию 22.05.2025*

---

**Рукомойников К.П., Царев Е.М., Мохирев А.П., Волдаев М.Н.** Перспективные направления моделирования структуры внутрирегиональных и межрегиональных лесотранспортных потоков в условиях санкционного давления Запада // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 338–351. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.338-351

Статья посвящена анализу перспективных направлений оптимизации логистических цепочек в лесопромышленном комплексе с учетом геополитических, экономических и экологических вызовов. Данная информация особенно актуальна в условиях санкционного давления Запада на Россию. Цель работы – переориентация существующей системы моделирования структуры внутрирегиональных и межрегиональных лесотранспортных потоков с повышением устойчивости лесного сектора к изменяющимся внешним геополитическим условиям. Особое внимание уделено современному состоянию системы моделирования транспортно-логистических цепочек лесного комплекса. Исследованы особенности моделирования транспортных потоков с учетом региональной специфики и новых геополитических реалий. Рассматривается процесс переориентации экспортных потоков лесоматериалов с традиционных рынков (ЕС) на новые (Китай, Индия, страны Ближнего Востока), а также перспективы развития транспортной инфраструктуры и глубокой переработки древесины. В работе представлен анализ лесопромышленного комплекса России по федеральным округам, включая данные о лесном фонде, объемах заготовки, экспортных направлениях и ключевых проблемах. На основе этого анализа выделены основные недостатки существующих моделей лесотранспортных потоков, такие как отсутствие гибкости, недостаточный учет экологических ограничений и динамики санкционных рисков. Предложены наиболее вероятные и перспективные направления совершенствования моделей, включая интеграцию ГИС-технологий, агент-ориентированные подходы и развитие мультимодальных маршрутов (железнодорожных, речных, морских). Рекомендации статьи направлены на повышение устойчивости лесопромышленного комплекса через ускорение программ глубокой переработки, развитие альтернативных логистических коридоров и координацию межрегиональных поставок. Исследование может представлять интерес для лесозаготовительных компаний,

экспортеров и переработчиков древесины, а также вузов, готовящих кадры лесопромышленного комплекса.

**Ключевые слова:** лесотранспортные потоки, моделирование, санкции, логистика, лесопромышленный комплекс, инфраструктура.

**Rukomojnikov K.P., Tsarev E.M., Mokhirev A.P., Voldaev M.N.** Promising areas of modeling the structure of intraregional and interregional timber transportation flows in the context of Western sanctions pressure. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 338–351 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.338-351

The article is devoted to the analysis of promising areas for optimizing logistics chains in the timber industry, taking into account geopolitical, economic and environmental challenges. This information is especially relevant in the context of Western sanctions pressure on Russia. The aim of the work is to reorient the existing system of modeling the structure of intraregional and interregional forest transportation flows, with an increase in the resilience of the forest sector to changing external geopolitical conditions. Special attention is paid to the current state of the system of modeling transport and logistics chains of the forest complex. The features of traffic flow modeling are investigated, taking into account regional specifics and new geopolitical realities. The article considers the need to reorient timber export flows from traditional markets (EU) to new ones (China, India, Middle East countries), as well as prospects for the development of transport infrastructure and deep processing of wood. The paper presents an analysis of the Russian timber industry by federal districts, including data on the forest fund, harvesting volumes, export directions and key issues. Based on this analysis, the main disadvantages of existing models of forest transportation flows are highlighted, such as lack of flexibility, insufficient consideration of environmental restrictions and the dynamics of sanctions risks. The most probable and promising areas of model improvement are proposed, including the integration of GIS technologies, agent-based approaches, and the development of multimodal routes (rail, river, and sea). The recommendations of the article are aimed at increasing the sustainability of the timber industry through the acceleration of deep processing programs, the development of alternative logistics corridors and the coordination of interregional supplies. The study may be of interest to logging companies exporting and processing timber, as well as universities that train personnel in the timber industry.

**Key words:** timber transportation flows, modeling, sanctions, logistics, timber industry, infrastructure.

---

**РУКОМОЙНИКОВ Константин Павлович** – профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор технических наук. SPIN-код: 9119-8261. ORCID: 0000-0002-9956-5081.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: rukomojnikovkp@volgatech.net

**RUKOMOYNIKOV Konstantin P.** – DSc (Technical), Professor, Department of Forestry and Chemical Technologies, Volga State University of Technology, Associate Professor. SPIN-code: 9119-8261. ORCID: 0000-0002-9956-5081.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: rukomojnikovkp@volgatech.net

**ЦАРЕВ Евгений Михайлович** – профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор технических наук. SPIN-код: 3117-8576. ORCID: 0000-0001-5695-3028.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: carevEM@volgatech.net

**TSAREV Evgeny M.** – DSc (Technical), Professor, Department of Forestry and Chemical Technologies, Volga State University of Technology, Associate Professor. SPIN-code: 3117-8576. ORCID: 0000-0001-5695-3028.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: carevEM@volgatech.net

**МОХИРЕВ Александр Петрович** – профессор кафедры автомобильных дорог и городских сооружений Сибирского федерального университета, доцент, доктор технических наук. SPIN-код: 9036-6828. ORCID: 0000-0002-1692-3323.

660041, пр. Свободный, д. 82, г. Красноярск, Россия. E-mail: ale-mokhirev@yandex.ru

**MOHIREV Aleksandr P.** – DSc (Technical), Professor, Department of Highways and Urban Structures, Siberian Federal University, Associate Professor. SPIN-code: 9036-6828. ORCID: 0000-0002-1692-3323.

660041. Svobodny av. 82. Krasnoyarsk. Russia. E-mail: ale-mokhirev@yandex.ru

**ВОЛДАЕВ Максим Николаевич** – директор института леса и природопользования ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», доцент, кандидат технических наук. SPIN-код: 2468-2364. ORCID: 0000-0002-3339-8081

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: VoldaevMN@volgatech.net

**VOLDAEV Maksim N.** – PhD (Technical), Director of the Institute of Forestry and Nature Management of the Volga State Technological University, Associate Professor. SPIN-code: 2468-2364. ORCID: 0000-0002-3339-8081.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: VoldaevMN@volgatech.net

**Д.Ю. Дручинин, О.Р. Дорняк, М.Ю. Воскобойник**

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОПАНИЯ ПОЧВЫ  
РАБОЧИМ ОРГАНОМ ВЫКОПОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ПРИ ЗАГОТОВКЕ КРУПНОМЕРНОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА**

*Введение.* В настоящее время для озеленения городских территорий и реализации проектов ландшафтного дизайна активно используется крупномерный посадочный материал, пересаживаемый с комом почвы для лучшего сохранения корневой системы и, следовательно, приживаемости растения после пересадки [Литвяков, 1976; Юдина и др., 2020; Kumar, 2022]. В лесном хозяйстве саженцы-крупномеры также имеют перспективу применения при создании лесосеменных плантаций и реконструкции насаждений, образующих «зеленый пояс» городов [Коротков, 2017; Дручинин, 2020]. Для выкопки крупномерного посадочного материала, выращиваемого в лесных и декоративных питомниках, используется специальное выкопочное оборудование. При проектировании данного вида техники одним из основных вопросов является выбор формы подкапывающих рабочих органов, функционирующих по принципу ковшей землеройных машин. Осуществляемый при этом процесс копания подразумевает резание почвы при ее отделении от почвенного массива с одновременным перемещением почвенных объемов внутри рабочего органа и спереди от него. Поэтому поперечный профиль подкапывающей скобы, помимо влияния на образующуюся форму почвенного кома растения, его размеры и массу, в первую очередь определяет характеристики энергоемкости рабочего процесса выкопки крупномерных растений при внедрении рабочего органа в почву.

При функционировании землеройных и почвообрабатывающих машин их рабочими органами осуществляется процесс резания грунта, который характеризуется повышенными энергетическими затратами [Берестов, Стригоцкая, 2003]. Учеными ведутся исследования по снижению затрат энергии при работе землеройных машин: экскаваторов, скреперов, бульдозеров и т.д. – которые направлены на определение оптимальных режимов работы и параметров оборудования для снижения сил сопротивления копанию и резанию, в частности, грунтов с различными характеристиками.

К настоящему времени уже реализован целый комплекс исследований по теории резания грунтов, основу которой заложил академик В.П. Горячкин, предложив формулу для вычисления общего сопротивления сельскохозяйственного плуга [Горячкин, 1965]. Однако рабочие процессы землеройных машин имеют целый ряд особенностей. Развитие теории резания грунта применительно к эксплуатации экскаваторов, скреперов и бульдозеров продолжил Н.Г. Домбровский, который, изучая резание грунта одноковшовыми экскаваторами, предложил формулу для определения усилия копания грунта [Домбровский, 1961].

В дальнейшем взаимодействие рабочих органов землеройных машин с почвенной средой в разное время изучалось Зелениным А.Н., Резником Н.Е., Ветровым Ю.А. и др. [Ветров, 1971; Зеленин и др., 1975; Резник, 1975]. Выполненные ими исследования различных землеройных машин опирались на теории разрушения грунтов.

Совершенствование оборудования для разработки грунта реализуется на основе целого ряда приемов и методов, позволяющих обеспечить снижение сил сопротивления грунтовой рабочей среды. Однако проведенные ранее исследования показывают, что на величину сопротивлений при осуществлении процесса копания грунта в значительной степени влияют геометрические размеры и непосредственная форма поперечного профиля рабочего органа.

Д.И. Федоровым выполнены научные изыскания по экспериментальному определению усилия резания грунта ковшами с различными поперечными профилями: прямоугольным, трапецеидальным, с закругленным днищем и полукруглым [Зеленин и др., 1975]. Длина профилей была одинакова и составляла 1150 мм, опыты проводились на суглинке. Результаты этих исследований представлены на рис. 1.

Было установлено, что наибольшее усилие резания, требуемое для различных профилей, зависит от площади поперечного сечения стружки. Полукруглая режущая кромка производит резание с наибольшим усилием при снятии стружки площадью до  $700 \text{ см}^2$ . Однако при дальнейшем возрастании площади стружки происходит снижение усилия резания полукруглым периметром: при площади снимаемой стружки, равной  $1200 \text{ см}^2$ , уже прямоугольная режущая кромка требует приложения усилия свыше  $22 \text{ кН}$ , а полукруглая, являясь наименее энергоемкой –  $18 \text{ кН}$ .

Бурым Г.Г. с соавторами [2019] представлен вариант совершенствования рабочего процесса экскаватора с гидравлическим приводом на основе использования ковша, челюсть которого, осуществляя поворот вокруг своей оси, имеет сечение в виде окружности.

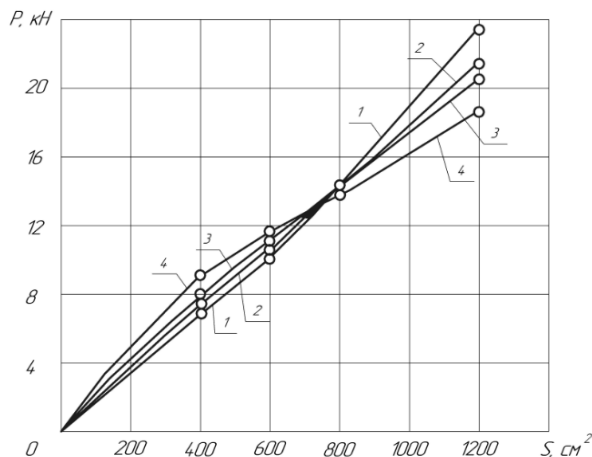


Рис. 1. Зависимость усилия резания грунта различными профилями от площади поперечного сечения стружки: 1 – прямоугольный; 2 – с закругленным дном; 3 – трапециевидный; 4 – полукруглый [Зеленин и др., 1975]

Fig. 1. Dependence of the cutting force of the soil with different profiles on the cross-sectional area of the chips: 1 – rectangular; 2 – with a rounded bottom; 3 – trapezoidal; 4 – semicircular [Zelenin et al., 1975]

Выполненные расчеты позволили построить зависимости суммарного момента сопротивления копанию грунта от угла поворота для разработанной конструкции ковша и стандартного ковша экскаватора объемом 0,25 м<sup>3</sup>.

Стандартное землеройное оборудование экскаваторов работает за счет движущей силы, создаваемой гидроцилиндрами поворота рукояти. Величина этой силы для экскаватора на базе трактора ЮМЗ-6АКЛ составляет около 160 кН. С учетом расстояния от точки приложения усилия копания до оси поворота рукояти как плеча данной силы, равного 0,56 м, суммарный момент сил от гидроцилиндров поворота рукояти составит 90 кН·м. При включении в работу гидроцилиндра поворота непосредственно ковша суммарный момент может достигать более 130 кН·м. В то же время величина суммарного момента сопротивления копанию грунта от угла поворота предлагаемого аппарата рабочего органа не превышает 20 кН·м [Бурый и др., 2020].

На основе обобщения данных анализа конструктивных и технологических особенностей работы землеройных машин и выкопчного оборудования в ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова была разработана машина для выкопки и

пересадки крупномерного посадочного материала с комом почвы (рис. 2) [Драпалюк, Дручинин, 2010]. Подкапывающий рабочий орган машины состоит из двух вертикальных стоек, в нижней части которых закреплен режущий периметр прямоугольного профиля. В процессе выкопки саженцев крупномеров вертикальные стойки вращаются двумя гидроцилиндрами по принципу рычага. Режущая часть периметра выполнена в виде двух треугольных зубьев, направленных острыми углами в сторону выкапываемого растения. Для формирования и последующего удержания почвенного кома при подъеме и транспортировке в задней части режущего профиля оборудован полуковш [Дручинин, 2011].

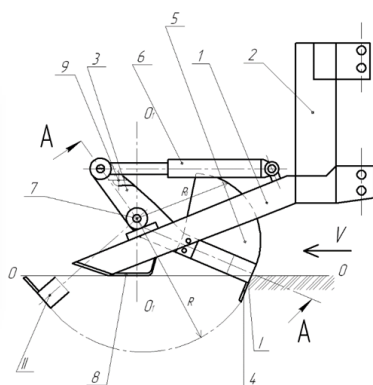
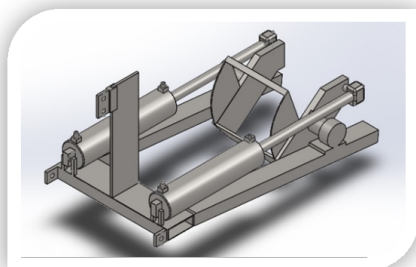


Рис. 2. Конструкция выкопчной машины: 1 – рама с несущими брусками; 2 – навесное устройство; 3 – вертикальные стойки; 4 – подкапывающий рабочий орган; 5 – полуковш; 6 – гидроцилиндр; 7 – шарниры; 8 – опоры; 9 – ограничитель  
 Fig. 2. The construction of the plant lifter: 1 – a frame with supporting beams; 2 – an draft hitch; 3 – vertical racks; 4 – a digging working part; 5 – a half bucket; 6 – a hydraulic cylinder; 7 – hinges; 8 – supports; 9 – limiter

Совершенствование технологии использования разработанной машины требует проведения расчетов динамики рабочего органа при выкопке саженцев. Моделирование процесса выкопки возможно при известных закономерностях изменения силы сопротивления резанию, которая зависит от геометрических параметров рабочего органа, а также от структурных свойств почвогрунта, меры его насыщенности корневыми включениями как самого саженца, так и окружающей растительности.

Цель исследования – разработка методики определения главного момента сил сопротивления, приложенных к рабочему органу выкопчного оборудования относительно оси его вращения.

*Материалы и методы.* Поставленная цель реализуется на основе натурального эксперимента с аналогом рабочего органа выкопочной машины и математической модели динамики этого устройства.

Лабораторная установка, представленная на рис. 3, включает в себя передвижную тележку почвенного канала 1, механизм навески тележки 2 и экспериментальный образец выкопочной машины 3, аналогичный описанной выше разработанной конструкции [Драпалюк, Дручинин, 2010].

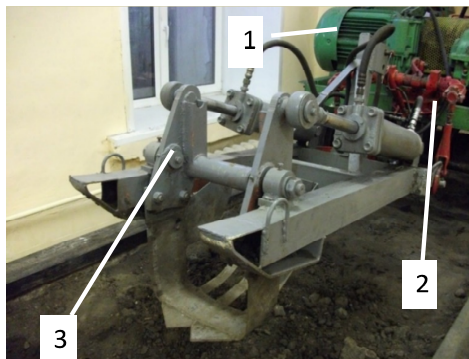


Рис. 3. Лабораторная установка выкопочной машины  
Fig. 3. Laboratory installation of the plant lifter

Ширина подкапывающего рабочего органа – 0,3 м, глубина копания была постоянной и равнялась 0,34 м. Рабочий орган выкопочной машины размещается по отношению к поверхности обрабатываемого грунта в соответствии с его конструктивным исполнением (рис. 4).

Ось его вращения зафиксирована. Рабочий орган связан со штоком гидроцилиндра, закрепленного шарнирно в точке С. Структурные свойства грунта, размещенного в опытном канале, можно изменять в соответствии с условиями реального процесса.

Известно, что силы сопротивления, приложенные к рабочему органу, различны в каждой точке контакта с почвогрунтом и изменяются в зависимости от положения рабочего органа.

Измеряемыми величинами являются: давление в гидроцилиндре; величина перемещения поршня гидроцилиндра в зависимости от времени при полном возможном повороте рабочего органа.

Давление в гидроцилиндре определяется с помощью датчика давления (рис. 5а). Перемещение поршня фиксируется с помощью видеосъемки (рис. 5б).

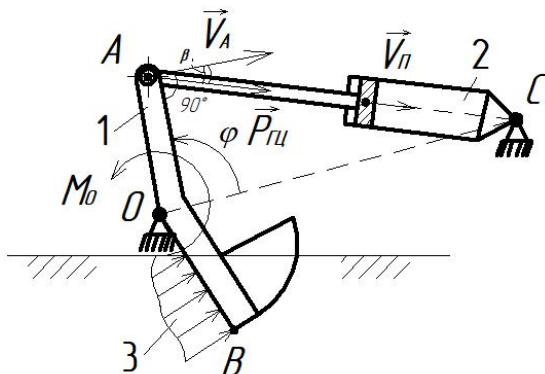


Рис. 4. Расчетная схема для главного момента сил сопротивления рабочего органа выкопочной машины: 1 – рабочий орган; 2 – гидроцилиндр; 3 – неизвестное распределение сил сопротивления почвы движению рабочего органа

Fig. 4. Calculation scheme for the main moment of the resistance forces of the working part of the plant lifter: 1 – working part; 2 – hydraulic cylinder; 3 – unknown distribution of ground resistance forces to the movement of the working part



(a)



(b)

Рис. 5. Проведение лабораторных экспериментов: (a) датчик давления в гидросистеме; (b) процесс замера перемещения штока гидроцилиндра при повороте рабочего органа, фиксируемый на видео

Fig. 5. Laboratory experiments: (a) an installed pressure sensor in the hydraulic system; (b) the process of measuring the movement of the hydraulic cylinder rod when the working part is rotated, recorded on video

Для расчета главного момента сил сопротивления относительно оси вращения рабочего органа – точки  $O$  – используется уравнение изменения кинетического момента [Яблонский, 1977]:

$$J_{Z_o} \frac{d^2\varphi}{dt^2} = M_{compO} - P_{cy} \cos\beta \cdot |OA|, \quad (1)$$

где  $J_{Z_o}$  – момент инерции рабочего органа относительно оси вращения, кг·м<sup>2</sup>;  $\varphi$  – угол поворота рабочего органа;  $t$  – время, с;  $M_{compO}$  – главный момент сил сопротивления движению рабочего органа со стороны почвы, Н·м;  $P_{cy}$  – сила давления на шток гидроцилиндра, Н.

Величина силы давления связана с регистрируемым давлением в гидроцилиндре  $p_{cy}(t)$ , Па, соотношением:

$$P_{cy} = p_{cy} \cdot \frac{\pi d_{cy}^2}{4}. \quad (2)$$

Здесь  $d_{cy}$  – диаметр поршня в гидроцилиндре, м.

Уравнение (1) служит для определения  $M_{compO}$  как функции времени или как функции угла поворота рабочего органа в рассматриваемых условиях лабораторного эксперимента:

$$M_{compO} = J_{Z_o} \ddot{\varphi} + P_{cy} \cos\beta \cdot |OA|. \quad (3)$$

Вычисление углового ускорения рабочего органа проводится с использованием замеров хода штока гидроцилиндра, которые позволяют определить временную зависимость скорости поршня гидроцилиндра  $V_{II}(t)$  относительно гидроцилиндра.

Анализ кинематики плоского механизма (рис. 4) показывает, что

$$V_{II} = -\omega \cdot \cos\beta \cdot |OA|, \quad (4)$$

$$\omega = \dot{\varphi}.$$

Очевидно, угол  $\beta$  связан с углом поворота рабочего органа  $\varphi$  соотношением

$$\cos\beta = \frac{|OC|}{S(t)} \sin\varphi(t), \quad (5)$$

где  $S(t)$  – функция изменения во времени длины отрезка  $|AC|$ , связанного с положением поршня гидроцилиндра.

Используя уравнения (3) и (4), получаем обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка для определения угла поворота рабочего органа в зависимости от времени:

$$-\frac{d\varphi}{dt} = \frac{V_{II}(t)}{|OA| \cdot |OC|} \cdot \frac{S(t)}{\sin \varphi} \quad (6)$$

Уравнение (6) решается при начальном условии

$$\varphi|_{t=0} = \varphi_0, \\ \varphi_0 = \arccos \left[ (|AO|^2 + |OC|^2 - |AC|_0^2) / 2|AO| \cdot |OC| \right], \quad (7)$$

где  $|AC|_0$  – начальное расстояние между шарнирами  $A$  и  $C$ .

Уравнение (6) является уравнением с разделяющимися переменными, допускающим аналитическое решение:

$$\varphi(t) = \arccos \left[ \cos \varphi_0 + \int_0^t \alpha(t) dt \right], \quad (8) \\ \alpha(t) = \frac{V_{II}(t)S(t)}{|OA| \cdot |OC|}.$$

Таким образом, предлагается следующая методика определения зависимости главного момента сил сопротивления почвы движению рабочего органа от времени или угла поворота:

1. В течение одного цикла (поворота рабочего органа) экспериментально определяются временные зависимости давления в гидроцилиндре  $p_{гц}$  и перемещения поршня гидроцилиндра;
2. Вычисляются сила давления рабочей жидкости на поршень гидроцилиндра  $P_{гц}$  и скорость поршня гидроцилиндра  $V_{II}$ ;
3. Вычисляется расстояние между шарнирами  $A$  и  $C$  –  $S(t)$  – после решения задачи Коши вида

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = V_{II}, \\ S|_{t=0} = |AC|_0. \end{cases} \quad (9)$$

4. Определяется зависимость  $\varphi(t)$ , используя (8).
5. Вычисляются угловая скорость  $\omega$  угловое ускорение  $\varepsilon$  рабочего органа:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (10)$$

6. Определяется  $M_{\text{сопр}_o}(t)$  или  $M_{\text{сопр}_o}(\varphi)$  из динамического уравнения (2).

Рассмотрим реализацию предлагаемой методики теоретико-экспериментального определения главного момента сил сопротивления движению рабочего органа выкопчной машины со стороны конкретного почвогрунта.

Для подкапывающего рабочего органа рассматриваемой конструкции момент инерции относительно оси вращения  $J_{z_o}$  рассчитан с использованием САПР и равняется  $3,18 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Геометрические характеристики разработанного оборудования, согласно схеме на рис. 2, следующие:  $|AC|_0 = 1,11 \text{ м}$ ,  $|OA| = 0,2 \text{ м}$ ,  $OB = 0,45 \text{ м}$ ,  $OC = 0,95 \text{ м}$ ,  $d_{\text{ци}} = 0,063 \text{ м}$ .

В результате обработки данных видеосъемки процесса взаимодействия рабочего органа с почвой при внедрении в почвенный субстрат получены данные о перемещении поршня гидроцилиндра, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты замеров перемещения штока гидроцилиндра и расчетные значения скорости и перемещения поршня гидроцилиндра**

**The results of the displacement measurements of the hydraulic cylinder rod and the calculated values of the speed and displacement of the hydraulic cylinder piston**

№ п/п	t, с	AC , см	Ход штока гидроцилиндра, см	V <sub>п.</sub> , см/с
1	1	106	0–5	5
2	2	101	5–10	5
3	3	96	10–15	5
4	4	91	15–20	5
5	5	86	20–25	5
6	6	81	25–30	5
7	7	76	30–35	5

Полученные результаты свидетельствуют, что скорость поршня  $V_{II} \approx \text{const}$  и составляет  $5 \text{ см/с}$ , т.е.  $V_{II} = 0,05 \text{ м/с}$ .

Зависимость давления в гидроцилиндре  $p_{\text{ци}}$  от времени движения подкапывающего рабочего органа представлена на рис. 6.

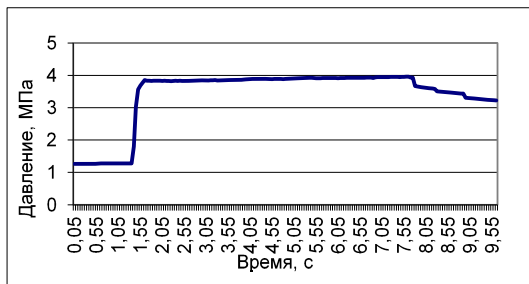


Рис. 6. Изменение давления рабочей жидкости в напорной магистрали гидроцилиндра (твердость почвы  $\rho = 1,5$  МПа, влажность почвы  $W_n = 75\%$ )

Fig. 6. Pressure change of the working fluid in the hydraulic cylinder pressure line (soil hardness = 1.5 MPa, soil moisture  $W = 75\%$ )

Решение задачи (9) дает выражение

$$S(t) = |AC|_0 - V_H t = 1,11 - 0,05t. \quad (11)$$

Из (8) с учетом (11) получаем

$$\varphi(t) = \arccos[\alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2], \quad (12)$$

где  $\alpha_0 = \cos \varphi_0 = -0,762$ ,  $\alpha_1 = 0,292$ ,  $\alpha_2 = 0,066$ .

Дифференцируя (12), имеем

$$\omega = \dot{\varphi} = -\frac{\alpha_1 + 2\alpha_2 t}{\sqrt{1 - (A(t))^2}}, \quad \varepsilon = \ddot{\varphi} = \frac{-(\alpha_1 + 2\alpha_2 t)^2 (\alpha_2 t^2 + \alpha_1 t + \alpha_0)}{(1 - (A(t))^2)^{3/2}}. \quad (13)$$

Полученные временные зависимости (13) позволяют вычислить главный момент сил сопротивления выбранного почвогрунта движению рабочего органа рассматриваемого типа:

$$M_{сопр_0} = J_{Z_0} \ddot{\varphi} + P_{ци} \cos \beta \cdot |OA|. \quad (14)$$

Следует отметить, что в рассматриваемом примере вклад сил инерции в величину  $M_{сопр_0}$  незначителен, и для его вычисления можно использовать упрощенное выражение

$$M_{сопр_0} = P_{ци} \cos \beta |OA|. \quad (15)$$

Расчеты по предложенной методике выполнены в программном математическом комплексе (рис. 7).

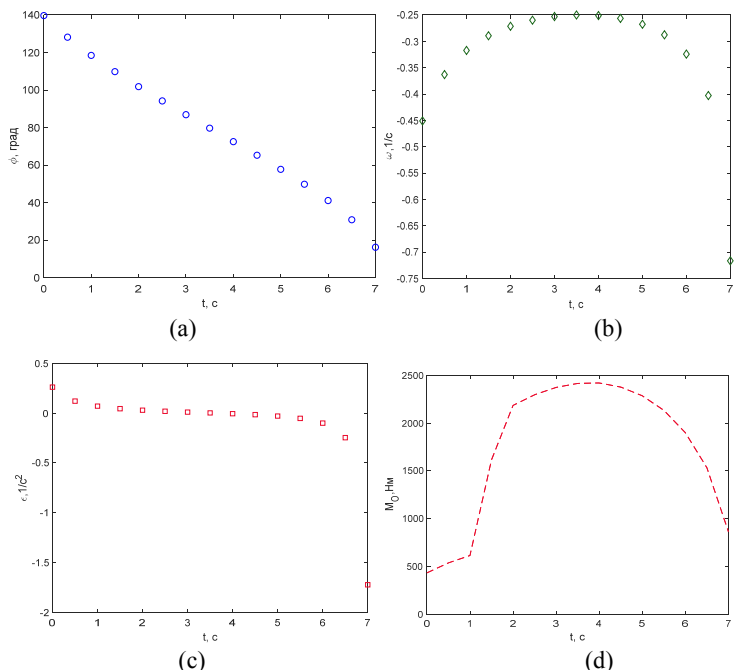


Рис. 7. Рассчитанные силовые и кинематические характеристики подкапывающего рабочего органа выкопной машины в зависимости от времени поворота: (а) угол поворота; (б) угловая скорость; (с) угловое ускорение; (д) момент силы сопротивления грунта относительно оси вращения

Fig. 7. Calculated power and kinematic characteristics of the excavating working part of the plant lifter depending on the rotation time: (a) angle of rotation; (b) angular velocity; (c) angular acceleration; (d) moment of ground resistance relative to the axis of rotation

За время рабочего движения режущего периметра, равное примерно 7 с, угол поворота меняется от 140 (начальное положение) до 18 градусов (конечное положение). При этом главный момент силы сопротивления грунта в процессе внедрения рабочего органа в почву резко возрастает, достигая своего максимума, около 2400 Н·м, при его максимальном заглублении. Затем  $M_{сопр_0}$  начинает уменьшаться и по завершении процесса выкопки становится практически равным исходным значениям. Аналогичная тенденция наблюдается для изменения угловой скорости рабочего органа.

Универсальной и более информативной является зависимость главного момента сил сопротивления копанию  $M_{сопр_о}$  не от времени, а от угла поворота  $\varphi$  (рис. 8).

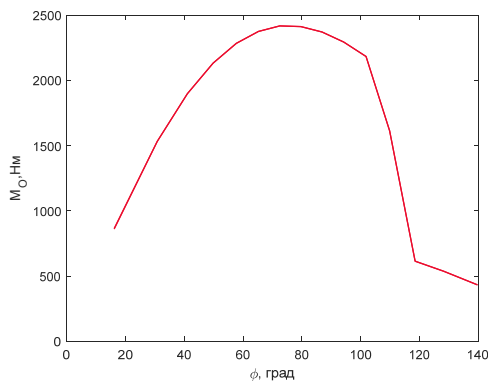


Рис. 8. Зависимость момента силы сопротивления грунта относительно оси вращения от угла поворота рабочего органа ( $d_{зч} = 0,063$  м)

Fig. 8. Dependence of the moment of the ground resistance force relative to the axis of rotation on the angle of rotation of the working body ( $d_{зч} = 0,063$  m)

Установлено, что максимальные значения главного момента сил сопротивления почвы относительно оси вращения, равные  $\sim 2400$  Н, наблюдаются при угле поворота  $\varphi = 70 \dots 80^\circ$ , когда подкапывающий рабочий орган максимально заглублен, после чего при постепенном подъеме режущего периметра величина  $M_{сопр_о}$  начинает резко снижаться до значений  $\sim 600$  Н.

#### Выводы.

1. Разработана теоретико-экспериментальная методика определения главного момента сил сопротивления почвогрунта при движении рабочего органа выкопной машины относительно его оси вращения;
2. Методика апробирована на лабораторной установке;
3. Разработанная методика может применяться для других сходных по рабочему процессу технологических машин;
4. Разработанная теоретико-экспериментальная методика по определению главного момента сил сопротивления почвогрунта относительно оси

вращения рабочего органа выкопчной машины может быть использована при решении более общих задач по изучению динамических характеристик выкопчной машины, а также оптимизации конструкции и режимов работы этой машины.

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

### **Библиографический список**

*Берестов Е.И., Стригоцкая А.П.* Теоретические основы расчета сопротивлений при косом резании грунта // ИВУЗ. Строительство. 2003. №4 (532). С. 101–107.

*Бурый Г.Г., Щербаков В.С., Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф.* Совершенствование конструкции ковша гидравлического экскаватора // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16, №3 (67). С. 202–213. DOI: 10.26730/1816-4528-2019-2-46-51.

*Бурый Г.Г., Потеряев И.К., Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф.* Сравнение процесса копания стандартным ковшом экскаватора и ковшом новой конструкции // Горное оборудование и электромеханика. 2020. №1 (147). С. 37–44. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-37-44.

*Ветров Ю.А.* Резание грунтов землеройными машинами: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 1971. 357 с.

*Горячкин В.П.* Собрание сочинений в трех томах. Т. 1 /под ред. Н.Д. Лучинского. М.: Колос, 1965. 720 с.

*Домбровский Н.Г.* Землеройные машины. Т. 1: учеб. пособие. М.: Госстройиздат, 1961. 651 с.

*Драпалюк М.В., Дручинин Д.Ю.* Патент на полезную модель № 99277 U1 РФ, МПК А01С 11/00. Выкопчная машина: № 2010111038/12. Заявл. 23.03.2010, опубл. 20.11.2010.

*Дручинин Д.Ю.* Механизация перспективного способа выкопки крупномерных саженцев с комом почвы // Вестник КрасГАУ. 2011. №6 (57). С. 132–134.

*Дручинин Д.Ю.* Создание лесосеменных плантаций с использованием крупномерного посадочного материала // Повышение эффективности лесного комплекса: мат. Шестой Всерос. нац. науч.-практ. конф. с межд. уч. Петрозаводск, 2020. С. 57–59.

*Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П.* Машины для земляных работ. М.: Машиностроение, 1975. 422 с.

*Коротков В.Н.* Основные концепции и методы восстановления природных лесов Восточной Европы // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2017. Т. 2, № 1. С. 1–18. DOI: 10.21685/2500-0578-2017-1-1.

*Литвяков М.К.* Озеленение лесными деревьями (сортиментация древесного посадочного материала, его получение и использование). Ростов: Кн. изд-во, 1976. 144 с.

Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов: монография. М.: Машиностроение, 1975. 311 с.

Юдина Н.В., Лысова Е.П., Парамонова О.Н. Разработка методического подхода к формированию и выбору пояса «зеленого каркаса» при обеспечении экологической безопасности городов // Инженерный вестник Дона. 2020. №4 (64). С. 33.

Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Ч. 2: Динамика. М.: Высшая школа, 1977. 430 с.

Kumar A.M. Transplantation of Trees-An Informative Manual for Freshers. Bengaluru: IWST, 2022. 80 p.

### References

Berestov E.I., Strigotskaya A.P. Theoretical foundations of calculating resistances during oblique cutting of soil. *NHEI. Construction*, 2003, no. 4(532), pp. 101–107. (In Russ.)

Bury G.G., Poteryaev I.K., Skobelev S.B., Kovalevsky V.F. Research of forces resistance forces on a new structure of a bucket hydraulic excavator. *Mining equipment and electromechanics*, 2020, no. 2(142), pp. 46–51. DOI: 10.26730/1816-4528-2019-2-46-51. (In Russ.)

Bury G.G., Shcherbakov V.S., Skobelev S.B., Kovalevsky V.F. Improvement of the hydraulic excavator bucket design. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*, 2019, vol. 16, no. 3(67), pp. 202–213. DOI: 10.26730/1816-4528-2019-2-46-51. (In Russ.)

Dombrovskiy N.G. Earth-moving machines, vol. 1: manual. Moscow: Gosstroyzdat, 1961. 651 p. (In Russ.)

Drapalyuk M.V., Druchinin D.Yu. Utility Model Patent No. 99277 U1 of the Russian Federation, IPC A01C 11/00. Plant lifter: No. 2010111038/12. Appl. 03/23/2010, publ. 11/20/2010. (In Russ.)

Druchinin D.Yu. Mechanization of the perspective technique for large sapling lifting with clods. *Bulletin of KrasSAU*, 2011, no. 6 (57), pp. 132–134. (In Russ.)

Druchinin D.Yu. Creation of forest seed plantations using large-scale planting material. *Improving the efficiency of the forest complex: proceedings of the Sixth All-Russ. nat. sci.-pract. conf. with int. part. Petrozavodsk*, 2020, pp. 57–59. (In Russ.)

Goryachkin V.P. Collected works in three volumes. Vol. 1 / ed. by N.D. Luchinsky. Moscow: Kolos, 1965. 720 p. (In Russ.)

Korotkov V.N. Basic concepts and methods of restoration of natural forests of Eastern Europe. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 1–18. DOI: 10.21685/2500-0578-2017-1-1. (In Russ.)

Kumar A.M. Transplantation of Trees-An Informative Manual for Freshers. Bengaluru: IWST, 2022. 80 p.

Litvyakov M.K. Landscaping with forest trees (sorting of tree planting material, its production and use). Rostov: Publishing House, 1976. 144 p. (In Russ.)

*Reznik N.E.* Theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting attachments: monograph. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 311 p. (In Russ.)

*Vetrov Yu.A.* Cutting subsoils with earthmoving machines: textbook. Moscow: Mashinostroenie, 1971. 357 p. (In Russ.)

*Yablonskiy A.A.* Course of theoretical mechanics. P. 2: Dynamics. Moscow: Higher School, 1977. 430 p. (In Russ.)

*Yudina N.V., Lysova E.P., Paramonova O.N.* Development of methodological approach to formation and selection of the “green belt” while ensuring environmental safety of the cities. *Engineering Bulletin of the Don*, 2020, no. 4(64). p. 33. (In Russ.)

*Zelenin A.N., Balovnev V.I., Kerov I.P.* Machines for earthworks. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 422 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 26.06.2025*

---

**Дручинин Д.Ю., Дорняк О.Р., Воскобойник М.Ю.** Методика определения силовых характеристик копания почвы рабочим органом выкопчного оборудования при заготовке крупномерного посадочного материала // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 352–368.* DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.352-368

Крупномерный посадочный материал – особый вид продукции лесных и декоративных питомников, активно применяемый в озеленительных и ландшафтных работах. В лесном хозяйстве саженцы-крупномеры имеют перспективу применения для создания лесосеменных плантаций и реконструкции лесных насаждений в городской черте. При заготовке крупномеров требуется применение специального выкопчного оборудования, позволяющего механизированно получить саженцы с сохранением прикорневого почвенного кома при выкопке. Целью работы является разработка методики определения главного момента сил сопротивления рабочего органа выкопчного оборудования, который в процессе подковки растения совершает вращательное движение вокруг неподвижной оси. Определение главного момента сил сопротивления любой почвенной структуры, в том числе и с растительными включениями (например, корнями), подразумевает реализацию серии экспериментальных исследований. Силы сопротивления почвы изменяются в зависимости от положения подкапывающего рабочего органа, для математического описания процесса поворота которого используется дифференциальное уравнение изменения кинетического момента. При этом в течение одного цикла (поворота рабочего органа) экспериментально определяются сила давления в гидроцилиндре и скорость поршня гидроцилиндра. На основании выполненных лабораторных экспериментов для разработанной выкопчной машины выполнен расчет

зависимостей ряда основных кинематических и силовых характеристик: угла поворота, угловой скорости, углового ускорения и момента силы сопротивления грунта относительно оси вращения рабочего органа. Разработанная методика применима для оценки силовых характеристик и других сходных по рабочему процессу технологических машин (землеройные, дорожно-строительные и т.д.). Полученные по итогам расчетов данные возможно использовать для выполнения оптимизации конструктивных параметров разрабатываемой техники.

**Ключевые слова:** лесное хозяйство, озеленение, крупномерный посадочный материал, выкопка саженцев, выкопачная машина, подкапывающий рабочий орган, сопротивление копанью.

**Druchinin D.Yu., Dornyak O.R., Voskoboynik M.Yu.** Methodology for determining the power characteristics of digging on-site using organic digging equipment during the preparation of large-sized planting material. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 352–368 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.352-368

Large-sized planting stock is a special type of product from forest and ornamental nurseries, widely used in landscaping and greening. In forestry, large-sized seedlings have potential for use in establishing forest seed plantations and reforestation within urban areas. Harvesting large-sized seedlings requires specialized digging equipment, allowing for mechanized harvesting of seedlings while preserving the root ball during digging. The aim of this study is to develop a method for determining the principal moment of resistance of the digging tool, which rotates around a fixed axis during digging. Determining the principal moment of resistance of any soil structure, including those containing plant inclusions (e.g., roots), requires a series of experimental studies. Soil resistance forces vary depending on the position of the digging tool, and a differential equation for the change in kinetic momentum is used to mathematically describe the rotation process. During one cycle (rotation of the working element), the pressure force in the hydraulic cylinder and the piston speed of the hydraulic cylinder are experimentally determined. Based on laboratory experiments, the relationships of several key kinematic and force characteristics were calculated for the developed excavating machine: rotation angle, angular velocity, angular acceleration, and the moment of soil resistance relative to the axis of rotation of the working element. The developed methodology is applicable to assessing the force characteristics of other technological machines with similar operating processes (earthmoving, road construction, etc.). The data obtained from the calculations can be used to optimize the design parameters of the developed equipment.

**Key words:** forestry, landscaping, large-sized planting material, digging of seedlings, digging machine, digging tool, digging resistance/

**ДРУЧИНИН Денис Юрьевич** – заведующий кафедрой механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, доцент, кандидат технических наук. SPIN-код: 2482-8478.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: druchinin.denis@rambler.ru

**DRUCHININ Denis Yu.** – PhD (Technical), Head of the Department of Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies, Associate Professor. SPIN-code: 2482-8478.

394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: druchinin.denis@rambler.ru

**ДОРНЯК Ольга Роальдовна** – профессор кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, доктор технических наук. SPIN-код: 8266-8748.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: ordornyak@mail.ru

**DORNYAK Olga R.** – DSc (Technical), Professor, Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Hydraulics, Voronezh State University of Forestry and Technologies. SPIN-code: 8266-8748.

394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: ordornyak@mail.ru

**ВОСКОБОЙНИК Михаил Юрьевич** – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова. SPIN-код: 3172-0307.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: tablock9@gmail.com

**VOSKOBOWNIK Mikhail Yu.** – PhD student, Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies. SPIN-code: 3172-0307.

394087. Timiryazeva str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: tablock9@gmail.com

**Р.С. Беспалов, С.А. Угрюмов**

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА  
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ФОРВАРДЕРА  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПЛОШНЫХ ЛЕСОСЕЧНЫХ РУБОК**

*Введение.* В условиях спада российской экономики из-за воздействия масштабных внешнеторговых и финансовых санкций и ограничений произошло нарушение работы всех промышленных комплексов России, в том числе лесопромышленного [Цатрян, 2023; Галактионов и др., 2024]. Европейские санкции и разрыв торгово-технологических связей стали одними из главных негативных факторов, осложнивших развитие лесопромышленной отрасли. В современных условиях, когда экономический сектор отрасли находится в сложном положении, повышение эффективности работы лесозаготовительной техники и оптимизация ее работы имеют особо важное значение [Черных, 2011; Рукомойников, 2014]. Качественная подготовка территорий, оптимизация технологического процесса лесозаготовок и правильный подбор систем машин для работы на лесосеках позволяют повысить эффективность функционирования лесозаготовительных предприятий на территории Российской Федерации [Жемулин, 2011].

В большинстве случаев производительность харвестера (или другой валочной лесозаготовительной техники) на лесосеках стабильна, при этом итоговые показатели работы лесозаготовительного предприятия, в том числе производительность, зависят от эффективности работы форвардера [Меньшиков, 1983; Каляшов, 2004]. Путем модернизации производственного процесса (как с точки зрения применяемой технологии, так и с точки зрения применяемой техники и оборудования) можно повышать эффективность лесозаготовки с учетом природно-производственных и почвенных условий [Клубничкин, 2025].

Разрабатываемая лесосека всегда уникальна, и каждая создаваемая карта-схема ее разработки составляется индивидуально. Разрабатываемые участки имеют разную форму, характеристики древостоя, поэтому подбор схем расположения пасечных и магистральных волоков может отходить от методических [Григорьев и др., 2013], становясь сложно-комбинированными. Исходя из этого, до сих пор не ясно, как следует по-

ступать оператору форвардера при работе на различных участках волока с учетом возвращения на лесоскладской пункт при различных объемах заполнения корзины техники.

Данный вопрос рассматривался в рамках оптимального построения маршрута для канатных трелевочных установок [Королько и др., 2025], для обоснования выборочных рубок или касаясь общей транспортной сети лесовозных дорог и проходимости техники [Воронова и др., 2009; Рукомойников, 2015]. Определение оптимального маршрута трелевочной техники на сплошных рубках в достаточной степени не освещено, поэтому вопрос оптимизации работы форвардера при проведении сплошных лесосечных рубок является актуальным и требует практического решения.

Применение графового анализа территорий при освоении лесосек может использоваться для изучения и оптимизации технологического процесса лесозаготовок, при этом средооадающее использование лесосек путем рационального перемещения по волокам позволит уменьшить воздействие на почвогрунт [Григорьев и др., 2008], а полученные рекомендации могут быть использованы при проектировании лесосечных работ с повышением их эффективности.

*Цель работы* – разработка методики нахождения оптимального маршрута форвардера John Deer 1210g на лесосеке с применением теории графов для достижения наименьшего проходимого расстояния. Модель лесосеки представлена в виде взвешенного графа, где связанные вершины соответствуют пачкам сортиментов и пунктам погрузки, а ребра – пасечным или магистральным волокам с весами, характеризующими расстояние и трудоемкость проезда. Исследование подразумевает анализ работы трелевочной техники при работе на сплошных рубках.

*Методика исследования.* В качестве объектов исследования была рассмотрена разработанная лесосека на территории Вашкинского округа Вологодской области РФ. Данная лесосека разрабатывалась комплексом многооперационных лесозаготовительных машин бренда John Deer. Под харвестер John Deer 1270, соответствующий среднему классу по снаряженной массе [Егорин и др., 2021], подобран форвардер John Deer 1210g [Андронов и др., 2021]. Рассматриваемая техника положительно зарекомендовала себя в природно-производственных условиях Северо-Западного Федерального округа.

Полученная технологическая карта-схема участка была обработана в системе автоматизированного проектирования и черчения Autodesk Auto-

CAD 2025 с целью определения размерностей рассматриваемого участка, а также протяженности проектируемых трелевочных волоков и расстояний между создаваемыми пачками сортиментов. Приведенное в графический вид изображение технологической карты в виде схемы приведено на рис. 1.

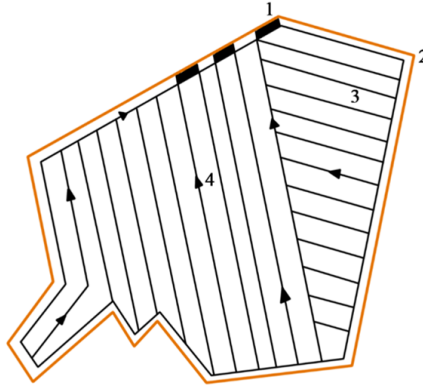


Рис 1. Карта-схема разрабатываемого технологического участка: 1 – лесопогрузочный пункт; 2 – граница лесосеки; 3 – волок; 4 – направление вывозки

Fig. 1. Schematic map of the technological site under development: 1 – timber loading point; 2 – cutting area boundary; 3 – portage; 4 – export direction

Как видно из рис. 1, расположение пасечных и магистральных волоков имеет сложно-комбинированный вид за счет своей формы. На данном участке нет биотопов, не подлежащих рубке, местность равнинная, не имеет природных препятствий, оказывающих влияние на производительность техники. Оператор трелевочной техники имеет стаж более 5 лет, что, согласно исследованиям [Dvořák et al., 2008] снижает антропогенный фактор в работе.

*Результаты исследования.* Для данной задачи подразумевается создание взвешенного и связанного графа, ребрами которого выступают участки волоков, вершинами являются формируемые харвестером пачки сортиментов на расстоянии, определяемом по формуле:

$$V_{\text{м.п}} = 2(k_{\text{с.в}} \cdot r), \quad (1)$$

где  $V_{\text{м.п}}$  – расстояние между формируемыми пачками на волоках, м.;  $k_{\text{с.в}}$  – коэффициент снижения вылета стрелы манипулятора харвестера;  $r$  – ради-

ус вылета стрелы манипулятора харвестера, м (из технического паспорта техники).

Так как в реальном рабочем процессе не всегда есть возможность максимально охватывать рабочий участок из-за различных условий, применяется коэффициент его снижения, определяемый по формуле:

$$k_{с.в} = k_p \cdot k_{п} \cdot k_{к}, \quad (2)$$

где  $k_p$  – коэффициент рельефа (0,7...0,9);  $k_{п}$  – коэффициент препятствий (0,8...0,9);  $k_{к}$  – коэффициент квалификации оператора харвестера (0,75...0,9).

Принимая положение (1), понимаем, что на лесосеке вершины графа будут появляться в интервале  $V_{м.п}$ , м и иметь объем сортиментов исходя из таксационных показателей лесосеки в области работы харвестера на волоке  $Q_{п.в.м}$ , м<sup>3</sup>.

Для более четкого представления графа, с учетом вычисляемых вершин, лесосека принимает вид, представленный на рис. 2.

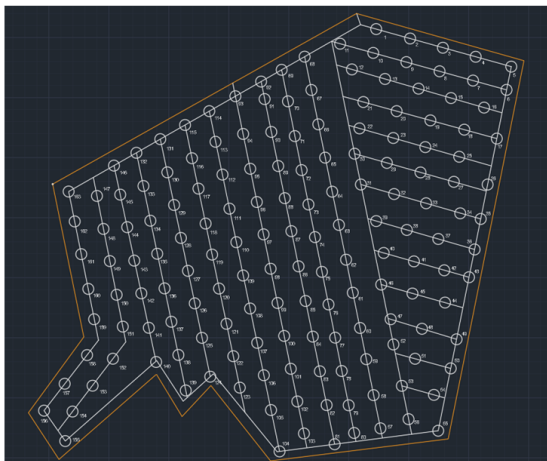


Рис 2. Граф рассматриваемой лесосеки  
 Fig. 2. Graph of the cutting area under consideration

По заданным условиям мы имеем итоговый граф:

$$G = (A, E), \quad (3)$$

где  $A$  – количество вершин графов;  $E$  – множество ребер графа.

Траектория пути форвардера опирается на модель используемой на лесосеке техники и технические характеристики грузоподъемности сортиментов. Она будет принимать вид:

$$ЛПП \rightarrow A_i \rightarrow \dots \rightarrow A_m \rightarrow ЛПП, \quad (4)$$

где ЛПП – погрузочный пункт лесосеки;  $A_i$  – начальная вершина графа;  $A_m$  – конечная вершина графа, которую может обработать форвардер.

Общее множество вершин создаваемого ряда для данной лесосеки составляет 163 шт. Для определения необходимого количества рейсов трелевочной техники необходимо установить количество вершин, которые она может забрать:

$$N_{ц} = \frac{A_i}{A_{рейс}} = \frac{A_i \cdot Q_{вершины}}{Q_{кор}}, \quad (5)$$

где  $A_i$  – количество всех вершин графа, шт.;  $A_{рейс}$  – количество вершин, которые форвардер может обработать за один рейс, шт.;  $Q_{вершины}$  – объем сортиментов, хранящихся на каждой вершине, м<sup>3</sup>;  $Q_{кор}$  – объем корзины форвардера, м<sup>3</sup>.

При проведении расчетов (5) результаты значений округляются в большую сторону при наличии десятичных частей, так как дополнительный объем, который не смог забрать форвардер на том или ином рейсе, все равно требуется забрать.

Форвардеру в рамках данной лесосеки будет необходимо совершить не менее 55 циклических маршрутов, чтобы обработать все вершины графа исходя из заданных условий и ограничений. Важно учитывать, что для вершин, находящихся на краях или на пересечении, более двух ребер имеют меньший объем хранящихся сортиментов, так как на таких участках либо заканчивается граница разрабатываемой лесосеки, либо уже была затронута часть древостоя. Для данной работы допускается усредненное значение объема заготавливаемых пачек в связи с различными производственными факторами на лесозаготовке.

Так как при проведении сплошных рубок работа харвестера и форвардера происходят одновременно, то трелевочная техника не может передвигаться в различные точки, которые не посещал вальщик. Исходя из этого начальный маршрут форвардера будет дублировать путь харвестера. Опораясь на то, что харвестер движется от одного массива деревьев к другому, а трелевочный трактор совершает циклические операции, включающие в себя, как минимум, проезды в порожнем и холостом ходе на лесопогру-

зочный пункт, зона вариативности перемещения форвардера будет постепенно увеличиваться.

Имея известные объемы, находящиеся на вершинах, и грузоподъемность рассматриваемой техники на лесосеке, можно увидеть, что при данных природно-производственных условиях можно за один рейс обработать 3 вершины рассматриваемого графа. Для других видов работ и унификации рассмотрения графа лесосеки возможно создание сверхграфа, снижающего общее количество вершин, но данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Движение на волоках, у которых вершины имеют лишь два ребра, будет плавным, от одной вершины к другой, а на вершинах, имеющих более двух ребер, – идти по принципу «ближайшего соседа» и варьироваться от расстояния между вершинами.

Итогом является поиск целевой функции по преодолению наименьшего пути трелевки для всех вершин:

$$S_{\min} = \min \sum_{i=0}^{k-1} S_{\text{в}}(V_i, V_{i+1}), \quad (6)$$

где  $S_{\min}$  – общее наименьшее проходимое расстояние, м;  $S_{\text{в}}(V_i, V_{i+1})$  – длина конкретного волока, м.

По своей сущности поиск оптимального построения посещения вершин графа сводится к решению задачи коммивояжера, направленному на поиск оптимального маршрута.

Для точек, которые имеют более двух ребер, учитывается следующее:

$$S_{\min} = \min(P_{i,m}) \sum S_{\text{волока}}, \quad (7)$$

где  $(P_{i,m})$  – любой допустимый путь между вершинами волока, м;  $S_{\text{волока}}$  – длина волока, м.

В конечном итоге модель движения трелевочного трактора на рассматриваемой лесосеке представляется как:

$$N_{\text{рейса}} = t_{\text{ЛПП},i}^{\text{хол}} + t_{i+1}^{\text{хол-груз}} + t_{i+2}^{\text{груз}} + t_{i+3,\text{ЛПП}}^{\text{груз}}, \quad (8)$$

где  $N_{\text{рейса}}$  – номер рейса форвардера;  $t_{\text{ЛПП},i}^{\text{хол}}$  – операция перехода от ЛПП до вершины 1 в холостом ходе;  $t_{i+1}^{\text{груз}}$  – операция обработки вершины графа из холостого пути в груженный;  $t_{i+2}^{\text{груз}}$  – операция переезда на вторую вершину графа в груженом состоянии;  $t_{i+3,\text{ЛПП}}^{\text{груз}}$  – операция по обработке третьей вершины графа и возвращение на ЛПП в груженом виде.

Использование графоаналитического метода позволяет при наличии опытных данных рассматривать граф не только со стороны проходимого расстояния, но и со стороны времени затрат, также влияющих на итоговый результат выработки техники.

*Заключение.* Рассмотрение работы многофункциональной лесозаготовительной техники путем применения графоаналитического метода позволяет внести ясность во многие технологические процессы при проведении подготовительных и лесосечных работ [Воронова и др., 2009; Рукомойников, 2015]. Использование предложенного метода позволяет рекомендовать операторам форвардеров конкретные технические задания с оптимизацией маршрутов, снижая вероятность возникновения случайных переместительных операций. С учетом сложной экономической ситуации в лесном секторе применение данного подхода к проектированию работ может позволить лесозаготовителям оптимизировать работу трелевочной техники и повысить эффективность лесозаготовительного производства в целом. Так как все лесосеки индивидуальны, и на каждой из них рабочий процесс отличается, применение предлагаемого метода благоприятно влияет на итоговую производительность.

Представленные в работе методы могут быть автоматизированы с получением быстрого и гибкого расчета работы трелевочной техники на сплошных лесосечных рубках, с обеспечением минимального отрицательного воздействия на окружающую среду, почвогрунт и произрастающий древостой, не подлежащий рубке [Григорьев и др., 2008; Воронова и др., 2013].

Рассмотренные и выведенные положения по нахождению оптимального пути при работе форвардера среднего класса на взвешенном графе в виде лесосеки позволяют развивать данную тему в дальнейшем с обработкой большого массива лесосек. Расширение базы данных множества лесосек и обработка информации в целом позволит сделать рассматриваемую модель более адекватной и устойчивой на различных типах лесосек.

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

### **Библиографический список**

*Андронов А.В., Петросян С.С., Егорин А.А., Ильюшенко Д.А., Хитров Е.Г.* Классификация форвардеров с использованием кластеризации данных об их эксплуатационных характеристиках // Resources and Technology. 2021. Т. 18, №4. С. 1–16. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5983.

*Воронова А.М., Воронов Р.В., Пискунов М.А.* Задача размещения волоков и погрузочных пунктов на лесосеке и вопросы применения оптимальных схем на практике // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2009. №9. С. 58-62.

*Воронова А.М., Воронов Р.В., Пискунов М.А., Щеглова Л.В.* Алгоритм оптимального размещения волоков из условия минимизации повреждения грунта // Тракторы и сельхоз машины. 2013. №9. С. 33-35.

*Галактионов О.Н., Васильев А.С., Суханов Ю.В.* Пути развития лесопромышленного комплекса России в современных экономических условиях // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: мат. IV междунар. науч.-практ. конф. Архангельск, 2024. С. 16-23.

*Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В.* Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации: монография. СПб.: ЛТА, 2008. 178 с.

*Григорьев И.В., Тихонов И.И., Куницкая О.А.* Технология и машины лесосечных работ: учеб. пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 132 с.

*Егорин А.А., Петросян С.С., Андронов А.В., Хитров Е.Г., Степанищева М.В.* Анализ эксплуатационных характеристик современных харвестеров // Системы. Методы. Технологии. 2021. №4 (52). С.127-131. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-4-127-131.

*Жемулин С.Б.* Проблемы развития предприятий лесозаготовительной промышленности и ключевые направления их решения // Российское предпринимательство. 2011. №10-1. С. 119-124.

*Каляшов В.А.* Обоснование рациональной технологии несплошных рубок при заготовке сортиментов многооперационными машинами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2004. 20 с.

*Клубничкин В.Е.* Методы разработки беспилотных колесных и гусеничных трелевочных машин: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2025. 326 с.

*Королько Н.С., Свойкин Ф.В., Рего Г.Э., Королько А.С., Россихин К.В., Кретицин В.И.* Оптимальная схема разработки лесосеки канатной трелевочной установкой // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 252. С. 317-334. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.317-334.

*Меньшиков В.Н.* Разработка лесосек машинами при сплошнолесосечных рубках: лекции для студентов. Л.: ЛТА, 1983. 58 с.

*Рукомойников К.П.* Графоаналитический подход к обоснованию целесообразности размещения лесовозного уса на территории лесного квартала // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. С.1-8.

*Рукомойников К.П.* Обоснование способов и параметров рациональных технологий поквартального освоения лесных участков: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Йошкар-Ола, 2015. 34 с.

Цатрян Л.Р. Анализ проблем и перспектив развития лесопромышленного комплекса в условиях санкций // Промышленное развитие России: проблемы, перспективы: сб. ст. по мат. XXI Межд. науч.-практ. конф. преподавателей вузов, ученых, специалистов, аспирантов, студентов. Нижний Новгород, 2023. С. 71-75.

Черных Р.А. Обоснование выбора алгоритма поиска кратчайшего пути для построения схемы сети лесовозных дорог // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28, №1/2. С. 130-133.

Dvořák J., Malkovský Z., Macků J. Influence of human factor on the time of work stages of harvesters and crane-equipped forwarders // Journal of Forest Science. 2008. Vol. 54, iss. 1. P. 24-30. DOI: 10.17221/790-JFS.

### References

Andronov A.V., Petrosyan S.S., Egorin A.A., Ilyushenko D.A., Khitrov E.G. Classification of forwarders using clusterization of data on their operational characteristics. *Resources and Technology*, 2021, vol. 18, iss. 4, pp. 1-16. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5983. (In Russ.)

Chernykh R.A. Substantiation of the choice of an algorithm for finding the shortest path for constructing a network of logging roads. *Conifers of the boreal zone*, 2011, vol. 28, no. 1/2, pp. 130-133. (In Russ.)

Dvořák J., Malkovský Z., Macků J. Influence of human factor on the time of work stages of harvesters and crane-equipped forwarders. *Journal of Forest Science*, 2008, vol. 54, iss. 1, pp. 24-30. DOI: 10.17221/790-JFS.

Egorin A.A., Petrosyan S.S., Andronov A.V., Khitrov E.G., Stepanishcheva M.V. Analysis of the Performance Characteristics of Modern Harvesters. *Systems. Methods. Technologies*, 2021, no. 4(52), pp. 127-131. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-4-127-131. (In Russ.)

Galaktionov O.N., Vasilyev A.S., Sukhanov Yu.V. Ways of developing the Russian timber industry in modern economic conditions. *Arctic research: from extensive development to integrated development: proceedings of the IV Int. youth sci.-pract. conf.* Arkhangelsk, 2024, pp. 16-23. (In Russ.)

Grigoryev I.V., Zhukova A.I., Grigoryeva O.I., Ivanov A.V. Environmental-Friendly Technologies for Developing Timber Areas in the North-Western Region of the Russian Federation: monograph. St. Petersburg: LTA, 2008. 178 p. (In Russ.)

Grigoryev I.V., Tikhonov I.I., Kunitskaya O.A. Technology and Machines of Logging Operations: textbook. St. Petersburg: SPbSFTU, 2013. 132 p. (In Russ.)

Kalyashov V.A. Substantiation of the rational technology of non-continuous felling in the preparation of assortment by multi-operation machines: author's abstract. Diss. ... Cand. Tech. Sci. St. Petersburg, 2004. 20 p. (In Russ.)

Klubnichkin V.E. Methods of development of unmanned wheeled and tracked skidder machines. Diss. ... Dr. Tech. Sci. Moscow, 2025. 326 p. (In Russ.)

*Korolko N.S., Svoikin F.V., Rego G.E., Korolko A.S., Rossikhin K.V., Kretinin V.I.* Optimal scheme of logging area development by cable skidding unit. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2025, iss. 252, pp. 317-334. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.317-334. (In Russ.)

*Menshikov V.N.* Development of logging sites by machines during clear-cutting: lectures for students. Leningrad: LTA, 1983. 58 p. (In Russ.)

*Rukomoynikov K.P.* Graphoanalytical approach to substantiating the feasibility of placing a logging fence on the territory of a forest quarter. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 6, pp.1-8. (In Russ.)

*Rukomoynikov K.P.* Substantiation of methods and parameters of rational technologies for quarterly development of forest plots: author's abstract. Diss. ... Dr. Tech. Sci. Yoshkar-Ola, 2015. 34 p. (In Russ.)

Timber industry complex. Results of 2024 and January-February 2025. *Bulletin of the LESTECH Association*, 2025, no. 2(20), p. 16. (In Russ.)

*Tsatryan L.R.* Analysis of problems and prospects for the development of the timber industry in the context of sanctions. *Industrial development of Russia: problems, prospects*: collection of articles based on the mat. of the XXI Int. sci.-pract. conf. of university teachers, scientists, specialists, PhD students, students. Nizhny Novgorod, 2023, pp. 71-75. (In Russ.)

*Voronova A.M., Voronov R.V., Piskunov M.A.* The task of placing haulage and loading points in the cutting area and the application of optimal schemes in practice. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2009, no. 9, pp. 58-62. (In Russ.)

*Voronova A.M., Voronov R.V., Piskunov M.A., Shcheglova L.V.* Algorithm of optimal placement of fibers from the condition of minimizing soil damage. *Tractors and agricultural machinery*, 2013, no. 9, pp. 33-35. (In Russ.)

*Zhemulin S.B.* Problems of Development of Enterprises in the Timber Industry and Key Directions for Their Solution. *Russian Entrepreneurship*, 2011, no. 10-1, pp. 119-124. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 27.07.2025*

---

**Беспалов Р.С., Угрюмов С.А.** Применение графоаналитического метода для оптимизации работы форвардера при проведении сплошных лесосечных рубок // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 369–380. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.369-380*

В современных условиях, когда экономический сектор отрасли находится в сложном положении, повышение эффективности работы лесозаготовительной техники и оптимизация ее работы имеют особо важное значение. Качественная подготовка территорий, оптимизация технологического процесса лесозаготовок и правильный подбор систем машин для работы на лесосеках позволяют повысить эффективность функционирования лесозаготовительных предприятий.

В данной статье рассмотрен вопрос применения графоаналитического метода на сплошных лесосечных рубках по скандинавской технологии с применением харвестера и форвардера. В исследованиях была обработана реальная лесосека на территории Северо-Западного федерального округа, лесной участок представлен в виде взвешенного графа. Для обработки результатов применялись специализированные приложения, позволяющие сократить и автоматизировать процесс. Представлена трансформация лесосеки в граф со связанными вершинами. Выведены формулы, позволяющие определить минимальное проходимое расстояние по принципу «ближайшего соседа». Представлена целевая функция для определения поставленной задачи, которая сводится к решению задачи коммивояжера. Использование предложенного метода позволяет рекомендовать операторам форвардеров конкретные технические задания с оптимизацией маршрутов, снижая вероятность возникновения случайных переместительных операций. С учетом сложной экономической ситуации в лесном секторе применение данного подхода к проектированию работ может позволить лесозаготовителям оптимизировать работу трелевочной техники и повысить эффективность лесозаготовительного производства в целом. Рассмотренные и выведенные положения по нахождению оптимального пути при работе форвардера среднего класса на взвешенном графе в виде лесосеки позволяют развить данную тему в дальнейшем с обработкой большого массива лесосек. Расширение базы данных множества лесосек и обработка информации в целом позволит сделать рассматриваемую модель более адекватной и устойчивой на различных типах лесосек.

**Ключевые слова:** лесозаготовка, харвестер, форвардер, лесосека, производительность, расстояние трелевки, теория графов.

**Bespalov R.S., Ugryumov S.A.** Application of the graph-analytical method to optimize the operation of a forwarder during clear-cutting logging. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 369–380 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.369-380

In modern conditions, when the economic sector of the industry is in a difficult situation, increasing the efficiency of logging equipment and optimizing its operation is particularly important. High-quality preparation of territories, optimization of the technological process of logging and the correct selection of machine systems for work in logging areas make it possible to increase the efficiency of logging enterprises. This article discusses the issue of using the graphoanalytical method on continuous logging using Scandinavian technology using a harvester and forwarder. In the research, a real logging area in the Northwestern Federal District was processed, the forest area is represented as a weighted graph. To process the results, specialized applications were used to shorten and automate the process. The transformation of a cutting area into a graph with connected vertices is presented. Formulas are derived to determine the

minimum distance traveled according to the “nearest neighbor” principle. An objective function is presented to determine the task, which boils down to solving the traveling salesman problem. Using the proposed method allows forwarder operators to recommend specific technical tasks with route optimization, reducing the likelihood of accidental relocation operations. Given the difficult economic situation in the forestry sector, the application of this approach to work design may allow loggers to optimize the operation of skidding equipment and increase the efficiency of logging production in general. The considered and derived provisions on finding the optimal path when working with a middle-class forwarder on a weighted graph in the form of a cutting area, allows us to develop this topic in the future with the processing of a large array of cutting areas. Expanding the database of multiple cutting areas and processing information in general will also make the model under consideration more adequate and sustainable for various types of cutting areas.

**Key words:** logging, harvester, forwarder, cutting area, productivity, skidding distance, graph theory.

---

**БЕСПАЛОВ Родион Сергеевич** – аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lesnik787@inbox.ru

**BESPALOV Rodion S.** – PhD student, Department of Technologies of Logging Industries, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: lesnik787@inbox.ru

**УГРЮМОВ Сергей Алексеевич** – профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. ResearcherID: F-6510-2016. ORCID: 0000-0002-8077-3542.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ugr-s@yandex.ru

**UGRYUMOV Sergey A.** – DSc (Technical), Professor, Department of Technologies of Logging Industries, St.Petersburg State Forest Technical University. ResearcherID: F-6510-2016. ORCID: 0000-0002-8077-3542.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: ugr-s@yandex.ru

**Н.С. Королько, Ф.В. Свойкин, А.С. Королько, К.В. Россихин,  
Е.И. Игнатова, И.С. Фролов, О.Н. Леонова, В.Е. Божбов**

**ПРЕОДОЛЕНИЕ ПОДЪЕМА МОДЕЛЬЮ  
АВТОНОМНОЙ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЁННОЙ  
ТРЕЛЁВОЧНОЙ КАРЕТКИ**

*Введение.* В РФ в настоящее время происходит истощение лесосырьевой базы, обладающей запасом ликвидной древесины и транспортной доступностью (развитой транспортной сетью), поэтому технологиям разработки труднодоступных по почвенно-грунтовым и рельефным факторам лесосек (с экономически обоснованным запасом лесных насаждений) в последнее время уделяется всё большее внимание [Кацадзе и др., 2022; Svoikin et al., 2025]. Известно, что одним из перспективных способов освоения таких лесосек является использование для первичной трелёвки канатных трелевочных установок (КТУ) [Свойкин и др., 2023; Svoikin et al., 2023, 2024a; Svoikin et al., 2024]. На таких труднодоступных лесосеках сложной конфигурации применение канатных трелевочных установок с шарнирно-сочленённой кареткой (ШСК) может стать наилучшим (во многих случаях единственным) решением [Свойкин и др., 2024; Svoikin et al., 2024a]. Установлено, что воздействие на грунт при применении КТУ минимально, при этом максимально сохраняется жизнеспособный подрост [Кацадзе и др., 2020; Svoikin et al., 2020, 2024; Svoikin et al., 2024b].

Параллельно развитию теоретических основ и практических рекомендаций (реализованных в технических решениях) ведутся разработки по информатизации технологий лесозаготовки на труднодоступных лесосеках, разработка которых традиционной системой лесных машин затруднена или не представляется возможной [Жук и др., 2025]. В настоящее время на основе математически-программных методов разработан алгоритм построения маршрута трассы волока вокруг препятствий, который может быть использован при проектировании работы канатных установок и актуальных лесных машин [Королько и др., 2025; Svoikin et al., 2024].

*Цель работы.* Для реализации технологии трелёвки древесины по непрямолинейным (криволинейным) волокам необходима разработка

технического решения на основе автономной шарнирно-сочленённой каретки (АШСК). Ввиду отсутствия данных о действующих канатных установках в Северо-западном федеральном округе РФ (СЗФО РФ) и дороговизны изготовления опытного образца в натуральную величину изготовлена радиоуправляемая модель шарнирно-сочленённой каретки в масштабе 1:16. Процесс прохождения каретки по трассе разбит на этапы прохождения по дуге поворотного башмака, спуска и подъема. Данное исследование посвящено этапу прохождения автономной кареткой подъемов.

*Методика исследования.* При планировании и осуществлении исследования применялся имеющийся в данной сфере задел [Спирин, Лавров, 2004; Бойко, Кудеников, 2016; Несетров, 2017; Степченко, Бабиц, 2023]. Изготовлен стенд с изменяемым углом подъема.

Задачей исследования является определение зависимости времени прохождения кареткой различных углов подъема с различной скоростью при различной массе груза  $f(v_{\text{угл}}, \alpha, m) = t$ , где  $v_{\text{угл}}$  – угловая скорость ведущих роликов, град./с;  $\alpha$  – угол подъема трассы;  $m$  – масса груза (условной пачки древесины).

Осуществлён подбор максимальной величины угла преодолеваемого подъема при изменении скорости ведущих роликов и массы груза путём изменения каждой переменной от минимальных значений до критических, на которых происходит схождение или остановка каретки.

*Результаты исследования.* Масштаб модели по отношению к потенциальному опытному образцу выбран исходя из ограничений 3D принтера. На каретке установлены синхронизированные электродвигатели с максимальной скоростью 300 об/мин.

Теоретическая линейная скорость перемещения  $V_{\text{max}}$  составляет:

$$V_{\text{max}} = \pi \cdot d \cdot n, \quad (1)$$

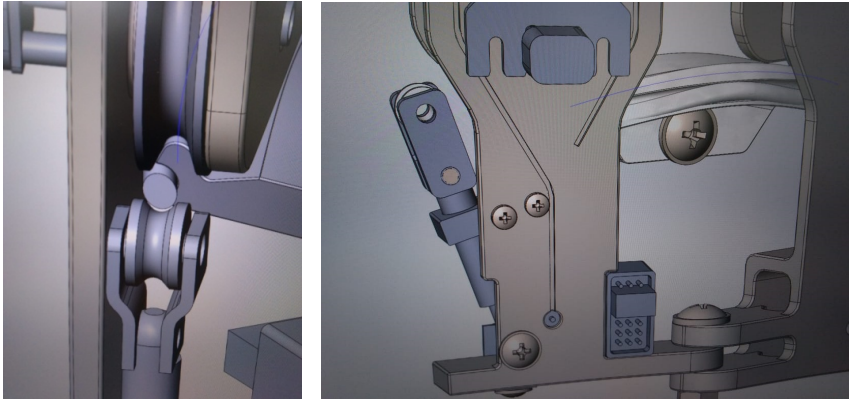
где  $d$  – рабочий диаметр, м;  $n$  – число оборотов.

В результате вычислений получаем значение  $V_{\text{max}}$ :

$$V_{\text{max}} = 3,14 \cdot 0,024 \cdot 5 = 0,37 \text{ м/с.}$$

Таким образом, максимальная линейная скорость без учёта проскальзывания составляет 0,37 м/с при рабочем диаметре колеса 0,024 м.

Для увеличения углов подъема на шарнирно-сочленённую каретку (ШСК) установлены подпорные ролики для прижима каретки к тросу и придания устойчивости. Они показаны на рис. 1.



*Рис. 1. Технические решения при проектировании модели шарнирно-сочленённой каретки*

*Fig. 1. Technical solutions when designing a model of an articulated carriage*

Существенным преимуществом КТУ по сравнению с традиционными решениями для разработки лесосек является возможность применения при любых микроизменениях рельефа местности лесосек (абсолютная лояльность к микрорельефу), дополнительным неоспоримым преимуществом – возможность преодоления водных препятствий, канав, болотистой местности. Эта возможность обеспечивается при монтаже несущего троса на любой высоте (так, в международной практике использование КТУ в первую очередь связано с лесозаготовкой на холмисто-грядовых и горных рельефах). Поскольку возможность преодоления подъемов является существенной технической характеристикой КТУ, оказывающей влияние на их технологическое применение, то установление значений данной характеристики обязательно при испытании новых технологических решений. От значений угла такого подъема зависит дальнейший расчет расстояния между опорами, натяжения несущего каната, превышения между опорами.

Стоит отметить, что проблема преодоления подъемов наиболее актуальна для КТУ с поворотом трасс. Поскольку автономная каретка не предполагает наличия тягового троса, осуществляющего подъем, то на преодоление такого подъёма оказывают влияние характеристики самой каретки и масса перевозимого груза. Эксперимент предполагает возможность преодоления подъема кареткой без груза.

*Описание стенда для определения критического значения подъёма каретки.* Стенд состоит из: 1. вертикальной опоры; 2. горизонтальной размеченной линейки длиной 1,5 м; 3. троса длиной 3 м; 4. малых тисков (в количестве 2 шт.); 5. каретки; 6. груза. Высота закрепления троса – 1,0 м. Длина горизонтальной линейки – 2,0 м. с разметкой через 0,05 м.

Стенд для определения критического значения подъёма каретки приведен на рис. 2.

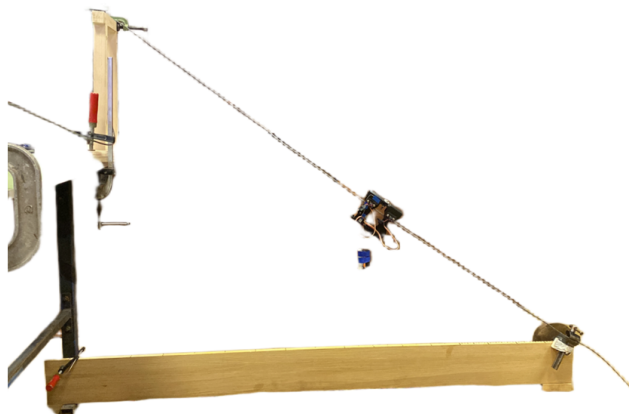


Рис. 2. Стенд для определения критического значения подъёма каретки

Fig. 2. Stand for determining the critical value of carriage lift

*Ход определения критического значения подъёма каретки.* Путём постепенного сдвига тисков вдоль направляющей линейки происходит укорачивание троса и увеличение угла подъема. Натяжение обеспечивается подвешиванием груза (массой 2,0 кг) на нижние тиски. Расчет угла подъема (тангенс угла подъема  $tg$ ) является отношением противолежащего катета (является постоянным – const) к прилежащему.

Измерение угловой скорости произведено путём замера и нанесения отметок на пульт управления. Измерение массы подвешиваемого груза произведено подбором грузиков и контрольным измерением на весах.

Табл. 1 представляет результаты испытания.

Из табл. 1 следует, что наличие подпорных роликов существенно влияет на величину преодолеваемого подъема, который для пустой каретки может достигать  $70^\circ$ . Также подпорные ролики обеспечивают безопасность конструкции КТУ с АШСК в случае схода.

Таблица 1

**Результаты испытания подъема модели автономной каретки**  
**The results of experiments to determine the maximum angle of carriage lift**

Параметры испытания			
№ п/п	Наименование параметра	Каретка с подпорными роликами	Каретка без подпорных роликов
	1	2	3
1	Значение уклона, °	70°, 67°, 67°, 70°, 70°, 70°, 70°, 70°, 70°	53°, 53°, 58°, 55°, 55°, 55°, 55°, 55°, 55°
2	Среднее значение радиусов, м	0,069333	0,054667
3	Среднеквадратичное отклонение, м	0,001323	0,001581
4	Расчётное значение $t_n$ – критерия ( $t_{np}$ ) при погрешности 0,05	2,62	1,729
5	Ближайшее табличное значение ( $t_{mn}$ ) $t_n$ – критерия при $P_\delta = 0,99$	2,059	1,6461
6	Минимально необходимое количество опытов	5	6

*Аналитическая оценка работоспособности канатно-трелевочной установки с поворотом трасс.* С учётом экспериментально установленных критических значений радиусов поворота и уклона под имеющуюся АШСК создан поворотный башмак, который установлен на стенд. На основе субъективных методов произведена оценка работоспособности конструкции КТУ с АШСК и поворотным башмаком.

Установлено, что АШСК может проходить трассу макета в прямом и обратном направлении. Конструкция поворотного башмака позволяет проходить повороты, однако нуждается в доработке и упрощении. В дальнейшем необходимо определить способ закрепления поворотного башмака на опорах с учётом действующих сил. Система может быть использована в качестве прототипа для создания промышленного образца канатно-трелевочной установки.

*Заключение.* В результате произведённых исследований доказана работоспособность конструкции АШСК, получены величины критических значений, установлена наилучшая конструкция комплекса «каретка АШСК – поворотный башмак». Описана модель экспериментальной канатной трелевочной установки с поворотом трассы для оценки работоспособности конструкции. Экспериментально доказана работоспособность комплекса «автономная шарнирно-сочленённая каретка – поворотный башмак». Опи-

сан процесс постановки эксперимента по поиску критических значений радиусов поворота и подъема для кареток различной конструкции. В целях дальнейшего совершенствования конструкции каретки необходимо проведение опытов с различными грузами и различной скоростью движения каретки.

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

### **Библиографический список**

*Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю.* Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №8. С. 128–132.

*Жук К.Д., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Мишура Л.Г., Кабаков В.В., Шкарубо С.Н.* Методы машинного обучения в задаче распознавания и классификации древесных пород // СТИН. 2025. № 4. С. 39-44.

*Кацадзе В.А., Бирман А.Р., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А., Королько Н.С., Шошин А.О.* Результаты экспериментальных исследований использования КТУ для первичной вывозки древесины на переувлажненных лесосеках в Республике Беларусь // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 8. С. 32–36.

*Кацадзе В.А., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А.* Обзор современных отечественных решений для транспортного освоения труднодоступных лесосек // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 3. С. 3–12. DOI:10.31044/1684-2561-2022-0-3-3-12.

*Королько Н.С., Свойкин Ф.В., Рего Г.Э., Королько А.С., Россихин К.В., Кретишин В.И.* Оптимальная схема разработки лесосеки канатной трелёвочной установкой // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 252. С. 314–334. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.317-334

*Несетров Н.И.* Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб. пособие. СПб., 2017. 141 с.

*Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Соколова В.А., Войнаш С.А., Арико С.Е.* Применение канатно-рельсовых дорог для трелевки сортиментов // Лесной журнал. 2023. №5. С. 115-125. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-115-125.

*Свойкин Ф.В., Королько Н.С., Угрюмов С.А., Россихин К.В.* Построение трассы канатной дороги математически-программными методами // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 252-272. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.252-272.

*Спирин Н.А., Лавров В.В.* Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: конспект лекций (отдельные главы учебника для вузов) / под общ. ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 257 с.

*Степченко Т.А., Бабич О.В.* Результаты научных исследований Брянского государственного университета в 2022 году в сфере создания лесных мобильных

канатных дорог и лесных канатных машин на базе самоходных колесных шасси // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2023. С. 9-27. №1. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-09-27.

*Svoykin F., Sokolova V., Korolko N., Shoshin A.* Constructive solutions to improve cable haulers for development of hard-to-reach cutting areas // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 193. Art. no. 01048. DOI: 10.1051/e3sconf/202019301048.

*Svoikin F., Zhuk K., Svoikin V., Iniesta D.V., Ryapukhin A.* Classification of Tree Species in the Process of Timber-Harvesting Operations Using Machine-Learning Methods // Inventions. 2023. Vol. 8, iss. 2. Art. no. 57. DOI: 10.3390/inventions8020057.

*Svoikin F.V., Svoikin V.F., Rossikhin K.V., Borozna A.A., Taraban M.V., Maksimov P.P., Kovtun M.A.* Modernization of skidding and primary removal of wood in the Vologda Region through the use of relevant domestic solutions // E3S Web of Conferences. 2024a. Vol. 515. Art. no. 03022. DOI: 10.1051/e3sconf/202451503022.

*Svoikin F., Svoikin V., Borozna A., Taraban M., Shavelkin D.* Modernization of cable skidding by finding the boundary conditions // E3S Web of Conferences. 2024b. Vol. 515. Art. no. 02017. DOI: 10.1051/e3sconf/202451502017.

*Svoikin F.V., Korolko N.S., Korolko A.S., Borozna A.A., Sorokin K.E.* Construction of a cable yarding track by mathematical and software methods // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 515. Art. no. 01013. DOI: 10.1051/e3sconf/202451501013.

*Svoykin F.V., Zhuk K.D., Svoikin V.F., Kretinin V.I., Uglova L.A.* Modern domestic solutions and software for Scandinavian logging in Russia under the new economic conditions // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 84. Art. no. 01012. DOI: 10.1051/bioconf/20248401012.

*Svoikin F., Svoikin V., Borozna A., Taraban M., Makarenko A.* Results of studies to determine the pressure on the soil of wheeled logging sites harvesters (VLSH) of middle-small, middle and heavy classes in the natural and production conditions of the Kronoberg County (South of Sweden) // J. For. Res. 2025. Vol. 36. Art. no. 37. DOI: 10.1007/s11676-025-01833-y.

## References

*Boyko A.F., Kudenikov E.Yu.* Accurate method for calculating the required number of repeated experiments. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2016, no. 8, pp. 128-132. (In Russ.)

*Katsadze V.A., Birman A.R., Svoikin F.V., Svoikin V.F., Ugryumov S.A., Korolko N.S., Shoshin A.O.* Results of experimental studies of the use of CTU for primary removal of wood from waterlogged cutting areas in the Republic of Belarus. *Repair. Recovery. Modernization*, 2020, no. 8, pp. 32-36. (In Russ.)

*Katsadze V.A., Svoikin F.V., Svoikin V.F., Ugryumov S.A.* Review of modern domestic solutions for transport development of hard-to-reach cutting areas. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*, 2022, no. 3, pp. 3–12. DOI: 10.31044/1684-2561-2022-0-3-3-12. (In Russ.)

*Korolko N.S., Svoikin F.V., Rego G.E., Korolko A.S., Rossikhin K.V., Kretinin V.I.* Optimal scheme for developing a cutting area using a rope skidding installation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2025, iss. 252, pp. 314–334. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.317-334. (In Russ.)

*Nesetrov N.I.* Planning and processing of experimental results: manual. St. Petersburg, 2017. 141 p. (In Russ.)

*Spirin N.A., Lavrov V.V.* Methods of planning and processing the results of an engineering experiment: lecture notes (individual chapters of a textbook for universities) / ed. by N.A. Spirin. Yekaterinburg: State Educational Institution of Higher Professional Education USTU-UPI, 2004. 257 p. (In Russ.)

*Stepchenko T.A., Babich O.V.* Results of scientific research of Bryansk State University in 2022 in the field of creation of forest mobile cableways and forest cable machines based on self-propelled wheeled chassis. *Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University*, 2023, no. 1, pp. 9–27. DOI: 10.22281/2413-9920-2023-09-01-09-27. (In Russ.)

*Svoikin F., Sokolova V., Korolko N., Shoshin A.* Constructive solutions to improve cable haulers for development of hard-to-reach cutting areas. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 193, art no. 01048. DOI:10.1051/e3sconf/202019301048.

*Svoikin F.V., Svoikin V.F., Sokolova V.A., Voinash S.A., Ariko S.Ye.* Application of Cable-Railways for Timber Skidding. *Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 5, pp. 115–125. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-115-125. (In Russ.)

*Svoikin F., Zhuk K., Svoikin V., Iniesta D.V., Ryapukhin A.* Classification of Tree Species in the Process of Timber-Harvesting Operations Using Machine-Learning Methods. *Inventions*, 2023, vol. 8, iss. 2, art. no. 57. DOI: 10.3390/inventions8020057.

*Svoikin F.V., Ugryumov S.A., Korolko N.S., Rossikhin K.V.* Construction of a cable car route using mathematical and software methods. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 252–272. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.252-272. (In Russ.)

*Svoikin F.V., Svoikin V.F., Rossikhin K.V., Borozna A.A., Taraban M.V., Maksimov P.P., Kovtun M.A.* Modernization of skidding and primary removal of wood in the Vologda Region through the use of relevant domestic solutions. *E3S Web of Conferences*, 2024a, vol. 515, art. no. 03022. DOI: 10.1051/e3sconf/202451503022.

*Svoikin F., Svoikin V., Borozna A., Taraban M., Shavelkin D.* Modernization of cable skidding by finding the boundary conditions. *E3S Web of Conferences*, 2024b, vol. 515, art. no. 02017. DOI: 10.1051/e3sconf/202451502017.

*Svoikin F.V., Korolko N.S., Korolko A.S., Borozna A.A., Sorokin K.E.* Construction of a cable yarding track by mathematical and software methods. *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 515, art. no. 01013. DOI: 10.1051/e3sconf/202451501013.

*Svoikin F.V., Zhuk K.D., Svoikin V.F., Kretinin V.I., Uglova L.A.* Modern domestic solutions and software for Scandinavian logging in Russia under the new

economic conditions. *BIO Web of Conferences*, 2024, vol. 84, art. no. 01012. DOI:10.1051/bioconf/20248401012.

*Svoikin F., Svoikin V., Borozna A., Taraban M., Makarenko A.* Results of studies to determine the pressure on the soil of wheeled logging sites harvesters (VLSH) of middle-small, middle and heavy classes in the natural and production conditions of the Kronoberg County (South of Sweden). *J. For. Res.*, 2025, vol. 36, art. no. 37. DOI: 10.1007/s11676-025-01833-y.

*Zhuk K.D., Svoikin F.V., Svoikin V.F., Mishura L.G., Kabakov V.V., Shkarubo S.N.* Machine learning methods in the problem of recognition and classification of tree species. *STIN*, 2025, no. 4, pp. 39-44. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 16.01.2025*

---

**Королько Н.С., Свойкин Ф.В., Королько А.С., Россихин К.В., Игнатова Е.И., Фролов И.С., Леонова О.Н., Божбов В.Е.** Преодоление подъёма моделью автономной шарнирно-сочлененной трелевочной каретки // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 381–392. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.381-392

Приведено обоснование разработки технического решения на основе автономной шарнирно-сочленённой каретки. Изготовлена радиоуправляемая модель шарнирно-сочленённой каретки в масштабе 1:16. Процесс прохождения каретки по трассе разбит на этапы прохождения по дуге поворотного башмака, спуска и подъёма. Исследование посвящено этапу прохождения автономной кареткой подъемов. Определены зависимости времени прохождения кареткой различных углов подъёма с различной скоростью при различной массе груза. Осуществлён подбор максимальной величины угла преодолеваемого подъёма при изменении скорости ведущих роликов и изменении массы груза. Приведены стенд и ход определения критического значения подъёма каретки. Сделаны выводы о влиянии подпорных роликов на величину преодолеваемого подъёма.

Ключевые слова: канатная трелёвка, канатные трелевочные установки, поворот трассы канатной дороги, подъем, автономная шарнирно-сочлененная каретка, поворотный башмак, стенд, критическое значение, угловая скорость, подпорные ролики.

**Korolko N.S., Svoikin F.V., Korolko A.S., Rossikhin K.V., Ignatova E.I., Frolov I.S., Leonova O.N., Bozhbov V.E.** Overcoming a slope with a model of an autonomous articulated skidder. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 381–392 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.381-392

The paper provides a rationale for developing a technical solution based on an autonomous articulated carriage. A radio-controlled model of an articulated carriage at a scale of 1:16 has been manufactured. The process of the carriage passing along the

track is divided into the stage of passing along the arc of the rotary shoe, descent and ascent. The study is devoted to the stage of the autonomous carriage passing ascents. The dependences of the time of passage of the carriage of various angles of ascent at different speeds with different masses of the load are determined. The maximum value of the angle of the overcome ascent is selected, with a change in the speed of the drive rollers and a change in the mass of the load. A stand and the process of determination for determining the critical value of the carriage ascent are provided. Conclusions are given on the effect of the support rollers on the value of the overcome ascent.

**Key words:** rope skidding, rope skidding installations, ropeway route turn, lifting, autonomous articulated carriage, turning shoe, stand, critical value, angular velocity, support rollers.

---

**КОРОЛЬКО Николай Сергеевич** – и.о. главного лесничего СПб ГКУ «Курортный лесопарк», кандидат технических наук.

195197, Лабораторная ул., д. 15, корп. 2Б, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kns891ta@mail.ru

**KOROLKO Nikolay S.** – PhD (Technical), Acting Chief Forester of the St. Petersburg State Institution "Resort Forest Park".

195197. Laboratornaya str. 15. Bldg. 2B. St. Petersburg. Russia. E-mail: kns891ta@mail.ru

**СВОЙКИН Федор Владимирович** – доцент кафедры компьютерной графики и информационного права Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 8938-6910. ResearcherID: AAC-4074-2020. ORCID: 0000-0002-8507-9584.

190121, ул. Лоцманская, д. 3, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: svoykin\_fv@mail.ru

**SVOIKIN Fedor V.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Computer Graphics and Information Law, Saint Petersburg State Marine Technical University. SPIN-code: 8938-6910. ResearcherID: AAC-4074-2020. ORCID: 0000-0002-8507-9584.

190121. Lotsmanskaya str. 3. St. Petersburg. Russia. E-mail: svoykin\_fv@mail.ru

**КОРОЛЬКО Александр Сергеевич** – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: korolko2008@mail.ru

**KOROLKO Aleksandr S.** – PhD student, St. Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: korolko2008@mail.ru

**РОССИХИН Кирилл Вадимович** – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: krossihin@gmail.com

**ROSSIKHIN Kirill V.** – PhD student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: krossihin@gmail.com

**ИГНАТОВА Елена Ивановна** – заведующий кафедрой компьютерной графики и информационного права Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 4064-8597. ORCID: 0000-0003-3121-037X.

190121, ул. Лоцманская, д. 3, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ignatova22@mail.ru

**IGNATOVA Elena I.** – PhD (Technical), Head of the Department of Computer Graphics and Information Law, Saint Petersburg State Marine Technical University. SPIN-code: 4064-8597. ORCID: 0000-0003-3121-037X.

190121. Lotsmanskaya str. 3. St. Petersburg. Russia. E-mail: ignatova22@mail.ru

**ФРОЛОВ Иван Сергеевич** – доцент кафедры компьютерной графики и информационного права Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 6011-5049. ORCID: 0000-0002-6738-2993.

190121, ул. Лоцманская, д. 3, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: frolovtrubach@mail.ru

**FROLOV Ivan S.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Computer Graphics and Information Law, Saint Petersburg State Marine Technical University. SPIN-code: 6011-5049. ORCID: 0000-0002-6738-2993.

190121. Lotsmanskaya str. 3. St. Petersburg. Russia. E-mail: frolovtrubach@mail.ru

**ЛЕОНОВА Ольга Николаевна** – доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 7241-4245. ResearcherID: ABB-1236-2021. ORCID: 0000-0001-6016-1680.

190005, 2-я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: onl60mail.ru

**LEONOVA Olga N.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. SPIN-code: 7241-4245. ResearcherID: ABB-1236-2021. ORCID: 0000-0001-6016-1680.

190005, 2nd Krasnoarmeyskaya str. 4. St. Petersburg, Russia. E-mail: onl60@mail.ru

**БОЖБОВ Владимир Евгеньевич** – доцент кафедры геодезии, землеустройства и кадастров Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 1820-4686. ORCID: 0000-0003-0881-2911.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: v-b@mail.ru

**BOZHBOV Vladimir E.** – Associate Professor, Department of Geodesy, Land Management and Cadastre, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 1820-4686. ORCID: 0000-0003-0881-2911.

194021, Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg, Russia. E-mail: v-b@mail.ru

**Р.А. Шадрин**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕРОПРИЯТИЙ  
ПО СОХРАНЕНИЮ БИОРАЗНООБРАЗИЯ  
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ,  
СОДЕРЖАЩИХСЯ В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕГЛАМЕНТАХ  
ЛЕСНИЧЕСТВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Введение.* Лесохозяйственный регламент лесничества – это документ, в соответствии с которым осуществляются использование, охрана, защита и воспроизводство лесов, расположенных в границах этого лесничества (например, лесохозяйственный регламент Приозерного лесничества Архангельской области, утвержденный постановлением Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области от 19 ноября 2018 года № 41п).

Согласно статье 87 Лесного кодекса Российской Федерации (№ 200-ФЗ от 04.12.2006) в лесохозяйственном регламенте в отношении лесов, расположенных в границах лесничеств, устанавливаются:

- 1) виды разрешенного использования лесов, определяемые в соответствии со статьей 25 Лесного кодекса Российской Федерации;
- 2) возрасты рубок, расчетная лесосека, сроки использования лесов и другие параметры их разрешенного использования;
- 3) ограничение использования лесов в соответствии со статьей 27 Лесного кодекса Российской Федерации;
- 4) требования к охране, защите, воспроизводству лесов.

Основой для подготовки (разработки) лесохозяйственного регламента лесничества, составляемого на срок до десяти лет, служат лесоустроительная документация, документы территориального планирования и сведения, которые содержатся в государственном лесном реестре и иных государственных реестрах.

Состав и порядок разработки, а также сроки действия и порядок внесения изменений в лесохозяйственные регламенты, обязательные для органов государственной власти, органов местного самоуправления, лиц, осуществляющих разработку лесохозяйственных регламентов и внесение в них изменений, утверждены Приказом Минприроды России от 27.02.2017 № 72.

Согласно пункту 6 Приказа Минприроды России от 27.02.2017 № 72 Глава 1 лесохозяйственного регламента должна включать характеристику имеющихся и проектируемых особо охраняемых природных территорий и объектов, планов по их организации, развитию экологических сетей, сохранению биоразнообразия, а также перечень видов биологического разнообразия и размеры буферных зон, подлежащих сохранению при осуществлении лесосечных работ. В соответствующей таблице в приложении к лесохозяйственному регламенту должны быть приведены нормативы и параметры объектов биологического разнообразия и буферных зон, подлежащих сохранению при осуществлении лесосечных работ. Также отмечается, что местоположение объектов биологического разнообразия и площадь буферных зон указываются при их проектировании при лесостроительстве и специальных обследованиях.

*Цель и задачи исследования.* Целью исследования служит анализ мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ, содержащихся в лесохозяйственных регламентах лесничеств Северо-Запада Российской Федерации, для определения технологических особенностей их проведения лесозаготовителями.

Задачи исследования:

- проанализировать современную нормативно-методическую основу мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ;
- проанализировать практику выполнения мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации;
- на основании этого анализа определить технологические особенности мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации.

*Материалы и методика исследования.* Методической основой исследования мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ послужило Постановление Правительства РФ от 31.05.2025 № 813 «Об утверждении требований к предотвращению гибели объектов животного мира при осуществлении производственных процессов, а также при эксплуатации транспортных магистралей, трубопроводов и линий связи и электропередачи».

Этот документ регламентирует производственную деятельность в целях предотвращения гибели объектов животного мира, обитающих в условиях

естественной свободы, в результате изменения среды обитания и нарушения путей миграции, попадания в водозаборные сооружения, узлы производственного оборудования и сельскохозяйственных машин, столкновения с автомобильными и иными транспортными средствами, строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства, добычи, переработки и транспортировки сырья, столкновения с проводами и электрошока, воздействия электромагнитных полей, шума, вибрации, технологических процессов животноводства и растениеводства.

Содержащиеся в данном документе требования применяются при осуществлении промышленных и водохозяйственных производственных процессов в сельском, лесном хозяйстве и лесной промышленности, в местах с открыто размещенным оборудованием, гидротехнических сооружениях и водохранилищах, в местах размещения сырья и побочных продуктов производства, на путях автомобильного, железнодорожного и водного транспорта, а также при эксплуатации трубопроводов, линий электропередачи мощностью от 6 кВ и выше и линий проводной связи.

К методическим основам данного исследования также относятся следующие нормативно-методические документы:

1. Лесной кодекс Российской Федерации (от 04.12.2006 № 200-ФЗ);
2. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
3. Федеральный закон от 24.04.1995 № 52-ФЗ «О животном мире»;
4. Федеральный закон от 24.07.2009 № 209-ФЗ «Об охоте и о сохранении охотничьих ресурсов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
5. Приказ Минприроды России № 993 от 01.12.2020 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации»;
6. Приказ Минприроды России № 534 от 30.07.2020 «Об утверждении Правил ухода за лесами»;
7. 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»;
8. Приказ Минприроды России от 03.04.2019 № 215 «Об утверждении перечня мероприятий по обеспечению предотвращения вреда животным, растениям и окружающей среде, соблюдения режима особой охраны территорий национальных парков»;

9. Приказ Минприроды России от 16.11.2021 № 864 «Об утверждении Составы проекта освоения лесов, порядка его разработки и внесения в него изменений, требований к формату проекта освоения лесов в форме электронного документа»;

10. Приказ Минприроды России от 27.02.2017 № 72 «Об утверждении состава лесохозяйственных регламентов, порядка их разработки, сроков их действия и порядка внесения в них изменений»;

11. Приказ Минприроды России от 17.03.2025 № 105 «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»;

12. Приказ Минприроды России от 17.03.2025 № 106 «Об утверждении видов и состава биотехнических мероприятий, а также порядка их проведения в целях сохранения охотничьих ресурсов».

*Результаты исследования.* Анализ мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ был начат с рассмотрения понятия «биоразнообразии» и причин, по которым его нужно сохранять, в данном случае, при осуществлении лесосечных работ.

«Биологическое разнообразие» означает вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются; это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем. Это определение содержится в Конвенции о биологическом разнообразии, подписанной в городе Рио-де-Жанейро 13 июня 1992 года. Российская Федерация ратифицировала данную Конвенцию (Федеральный закон от 17.02.1995 № 16-ФЗ «О ратификации Конвенции о биологическом разнообразии»).

К проблеме сохранения биологического разнообразия (биоразнообразия) при проведении лесосечных работ обращался целый ряд авторов, в том числе, [Баженова и др., 2023; Гаврилова, Рачковский, 2023; Иванищева и др., 2023; Конюшатов и др., 2023; Панченко, Ильина, 2023; Баженова и др., 2024; Беляков и др., 2024; Гаврилова и др., 2024; Залесов и др., 2024; Корчагов и др., 2024; Федоров, 2024; Башегуров и др., 2025; Корчагов и др., 2025; Панченко и др., 2025; Петров и др., 2025].

Кроме того, «по мере увеличения численности населения растёт количество задач, решение которых возлагается на лесные экосистемы, к таким

задачам можно отнести увеличение съёма древесины с единицы лесной площади, повышение биоэнергетического потенциала лесов, решение проблемы глобального потепления, экосистемных услуг» [Галактионов и др., 2025, с. 88].

Для анализа мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ, содержащихся в лесохозяйственных регламентах лесничеств Северо-Запада Российской Федерации, для определения технологических особенностей их проведения лесозаготовителями автором были выбраны:

1. Лесохозяйственный регламент Приозерного лесничества Архангельской области, утвержденный постановлением Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области от 19 ноября 2018 года № 41п;

2. Лесохозяйственный регламент Боровичского лесничества Новгородской области, утвержденный приказом Комитета лесного хозяйства Новгородской области от 27 декабря 2017 года № 1064.

В Лесохозяйственном регламенте Приозерного лесничества Архангельской области содержится информация о том, что к объектам биоразнообразия, рекомендуемым для сохранения при заготовке древесины в Архангельской области, относятся:

1. Участки, которые относятся к экотонным зонам с высоким биоразнообразием; их сохранение позволит поддержать разнообразие типичных и редких лесных видов после рубки (участки леса около болот, участки леса около небольших озер);

2. Уязвимые участки, легко повреждаемые (нарушаемые) в результате хозяйственной деятельности человека и имеющие очень долгий по времени процесс восстановления (природные выходы подземных вод (родники), небольшие заболоченные понижения, временные водотоки, каменистые россыпи, скальные обрывы, отдельные скалы, карстовые образования; последние четыре объекта на территории лесничества не встречаются);

3. Редкие для Архангельской области по причине своих биологических особенностей древесные породы или ставшие редкими в результате хозяйственной деятельности человека (вяз гладкий, вяз шершавый, липа сердцелистная, ольха черная, лиственница сибирская, пихта сибирская, можжевельник обыкновенный);

4. Ключевые элементы древостоя, служащие неотъемлемым условием устойчивого существования лесных экосистем и связанных с ними организмов (старовозрастные деревья всех пород, мертвая древесина всех по-

род на разных стадиях разложения, сухойстой, высокие пни, валеж, деревья с гнездами и дуплами);

5. Места обитания редких видов, выявляемые и определяемые работниками лесозаготовительных предприятий во время отвода лесосеки или лесосечных работ и сохраняемые в соответствии с требованиями действующего законодательства Российской Федерации.

На рис. 1 представлен оставленный на лесосеке сплошной рубки высокий пень как ключевой элемент древостоя, служащий условием устойчивого существования лесных экосистем и связанных с ними организмов.



*Рис. 1.* Высокий пень как ключевой элемент древостоя

*Fig. 1.* A tall stump as a key element of a tree stand

Существуют площадные и точечные объекты биоразнообразия, для защиты которых могут устанавливаться буферные зоны. Также для сохранения объектов биоразнообразия на лесосеках могут отграничиваться неэксплуатационные участки при выполнении следующих этапов работ: пла-

нирование отводов и отвод лесосек, составление технологической карты лесосечных работ, лесосечные работы.

Лесохозяйственный регламент Боровичского лесничества Новгородской области содержит сведения о том, что сохранение окружающей среды и биоразнообразия в Боровичском лесничестве будет достигаться за счёт:

1. Ограничения лесохозяйственной деятельности (выделение защитных лесов и особо защитных участков леса);

2. Сохранения редких и исчезающих видов животных, растений и грибов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и (или) Красную книгу Новгородской области, и их местообитаний;

3. Использования лесов с максимальным сохранением окружающей среды и биологического разнообразия;

4. Сохранения в целях повышения биоразнообразия лесов на лесосеках отдельных ценных деревьев в любом ярусе и их групп (старовозрастные деревья, деревья с дуплами, гнездами птиц, а также потенциально пригодные для гнездования и мест укрытия мелких животных и т.п.);

5. Исключения при сплошных рубках из эксплуатационной площади лесосеки при ее отводе:

а) нелесных и непокрытых лесной растительностью лесных земель (болота, вырубки, прогалины и т.п.);

б) выделенных семенных куртин и полос;

в) расположенных среди спелых древостоев участков молодняков, средневозрастных насаждений;

г) участков приспевающих лесных насаждений, находящихся внутри выделов спелых и перестойных древостоев, площадью более 3 га;

д) участков природных объектов, имеющих природоохранное значение.

Разрешается выделение неэксплуатационных участков по указанным критериям после отвода лесосеки в случаях, если они не были выделены при ее отводе, при этом в материалы отвода лесосеки вносятся соответствующие изменения.

Кроме того, Лесохозяйственный регламент Боровичского лесничества содержит такое понятие, как «ключевые сезонные местообитания позвоночных животных», относя к данной категории глухариные и тетеревиные тока, места токования серого журавля, медвежи берлоги, многолетние лисьи и барсучьи норы, деревья с гнездами крупных хищных птиц (табл. 1).

В качестве мер охраны рекомендуется вокруг этих объектов выделять буферную зону. Лесосечные работы на лесосеке, оказавшейся в буферной зоне, переносятся с учетом окончания времени размножения животных.

Таблица 1

**Ключевые сезонные местообитания животных**

**Key seasonal animal habitats**

Ключевое сезонное местообитание животных	Размер буферной зоны, м	Ограничения хозяйственных мероприятий	Сезон, на который необходимо перенести лесосечные работы
Многолетние барсучьи норы	500	Запрет всех рубок в период размножения. Для колоний («городищ») выделяется участок, охватывающий все близлежащие норы, с выделением буферной зоны от крайних нор не менее 20 м. В случае отвода делянок в зимний период отсутствуют характерные признаки, позволяющие выделить эти норы.	Лето – осень
Глухариные и тетеревиные тока, места токования серого журавля	200	Запрет всех рубок в период токования. Сохраняются участки леса в радиусе 300 м вокруг глухариных токов из расчета не более 3 таких участков лесов на 10 000 га.	Лето, осень, зима
Деревья с гнездами крупных хищных птиц	500	Запрет всех рубок в период гнездования (март-август); в остальное время возможны выборочные рубки малой интенсивности	Осень – зима

Для совместного анализа технологических особенностей мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации на примере Приозерного лесничества Архангельской области и Боровичского лесничества Новгородской области из вышеназванных таблиц лесохозяйственных регламентов был выбран ряд объектов биологического разнообразия (табл. 2).

Из табл. 1 следует, что Лесохозяйственный регламент Боровичского лесничества Новгородской области в отношении ключевых сезонных местообитаний позвоночных животных предусматривает лишь выделение буферных зон и перенос лесосечных работ на определенные сезоны года.

Таблица 2

**Нормативы и параметры объектов биологического разнообразия и буферных зон, подлежащих сохранению при осуществлении лесосечных работ**

**Standards and parameters of biological diversity objects and buffer zones to be preserved during logging operations**

Наименование объектов биологического разнообразия	Характеристика объектов биологического разнообразия	Размеры буферных зон, меры охраны
Заболоченные участки леса в бессточных или слабопроточных понижениях (Боровичское лесничество Новгородской области)	Расположены в локальных бессточных или слабопроточных понижениях рельефа, часто присутствуют мелкие временные водоёмы с различным руслом водотока, которое, как правило, заполнено водой (возможно пересыхание только в очень засушливое лето); низкий класс бонитета (5-5б); высокая фаунистость древостоя (класс товарности 3-4); низкая полнота древостоя (ниже 0,4); избыточно увлажнённые почвы (болотные, торфяные); болотная растительность; преобладающие типы леса – сфагновые, осоково-сфагновые, багульниковые, долгомошные и др.	Меры охраны: участки делянки, представляющие собой данные местообитания, рубке не подлежат и исключаются из эксплуатационной части лесосек; установление границ ключевого биотопа должно соответствовать естественному контуру лесного участка и включать переходную зону от суходола к заболоченному участку; определение границы возможно по характеру напочвенного покрова: в заболоченном понижении в напочвенном покрове преобладают сфагнум и виды, характерные для заболоченных типов (например, ЧВ, ДЛ, Сф); в пределах биотопа при надавливании ногой напочвенный покров проминается на 3 см и более, выделяется вода; при прокладке зимника в буферной зоне выделяются 2 НЭП с зимником между ними, ширина зимника 12 м
Участки около болот (Приозерное лесничество Архангельской области) <i>Если вокруг болота не выделен особо защитный участок (ОЗУ)</i>	Участки леса шириной: не менее 30 м около выделов, протаксированных как переходное или низинное болото*; не менее 20 м около выделов, протаксированных как верховое болото. <i>*Если в таксационном описании отмечено, что болото поросло деревьями на 20% и более, то около выделов, протаксированных как переходное болото, ширина участка – не менее 20 м</i>	Буферная зона не устанавливается. В границах объекта рубки не проводятся, не прокладываются волока, не размещаются погрузочные площадки
Единичные деревья и кустарники редких пород, являющиеся ценным местообитанием видов, занесённых в Красные книги Российской Федерации и Новгородской области (Боровичское лесничество Новгородской области)	Деревья следующих пород: клен, липа, вяз, ильм, ясень, бук, дуб, лиственница, древовидные формы рябины и ивы; крупные экземпляры (более 2 м высотой) кустарников: можжевельник, лещина	Меры охраны: единичные деревья клена, липы, вяза, ильма, ясени, бука, дуба, лиственницы, древовидные рябины и ивы, крупные экземпляры можжевельника и лещины оставляются в нетронутном состоянии вне технологической сети; в случае группового произрастания деревья и кустарники указанных пород объединяются в один участок, при этом сохраняются деревья прочих пород внутри участка. Участки делянки, представляющие собой данные местообитания, рубке не подлежат и исключаются из эксплуатационной части лесосек. Пути прохождения техники не должны пересекать сохраняемые участки. Буферная зона не выделяется

Наименование объектов биологического разнообразия	Характеристика объектов биологического разнообразия	Размеры буферных зон, меры охраны
Деревья пород, редких для Архангельской области в силу своих биологических особенностей или ставших редкими в результате хозяйственной деятельности человека (Приозерное лесничество Архангельской области)	Наличие в насаждении деревьев следующих пород: вяз гладкий; вяз шершавый; липа сердцелистная; ольха черная; лиственница сибирская; пихта сибирская; можжевельник обыкновенный (древовидная жизненная форма)	Буферная зона не устанавливается. Сохраняются все объекты вне технологической сети. При компактном произрастании возможно сохранение в виде куртины
Старовозрастные деревья (деревья предыдущих поколений) (Боровичское лесничество Новгородской области)	Нужно оставлять крупные деревья диаметром более 20 см. Оставляемые деревья должны иметь хорошо развитую крону. Нужно оставлять деревья разных пород. Нужно оставлять деревья, которые не повредятся ветровалом. Для этого ель, осину и березу нужно оставлять куртинами или на защищенных от ветра участках делянки. Сосны можно оставлять как группами, так и отдельно. Возраст оставляемых деревьев лиственных пород должен быть не меньше 80 лет, хвойных – не меньше 100–120 лет	Меры по сохранению: деревья предыдущих поколений оставляют на делянке в количестве до 10 шт./га; оставляемые деревья предыдущих поколений нельзя валить во время рубки, они не должны повреждаться при заготовке и трелевке древесины по делянке; если на делянке есть ценные деревья всех перечисленных групп (валеж, сухостой, деревья предыдущих поколений), нужно оставлять деревья каждой из этих групп, однако суммарное число оставленных живых и мертвых деревьев не должно превышать 20–30 деревьев/га, чтобы не захламлять делянку
Старовозрастные деревья всех пород (Приозерное лесничество Архангельской области)	Для деревьев характерны: толстые ствол, сучья и ветви; крона неравномерная, раскидистая, разреженная, притупленная, зонтиковидная, часто многовершинная; кора грубая, с глубокими трещинами в нижней части ствола; ствол и часто ветви покрыты мхами, лишайниками; наличие фауности – естественных полостей в стволе, ветвях и под корневой системой, наличие плодовых тел грибов, наростов, дупел, следов кормежки дятлов; следы физических повреждений – пожаров, молний, подсычки; искривленные или наклоненные стволы	Буферная зона не устанавливается. Сохраняются не менее 5 старых деревьев каждой породы на 1 га*. В общей сложности на лесосеке должно сохраняться не менее 10 старых деревьев на 1 га. Если в насаждении до рубки количество старых деревьев меньше 10 штук на га, то они сохраняются все, вне технологической сети <i>*Старовозрастные деревья не ветроустойчивых пород на слабых почвах рекомендуются сохранять в площадных объектах</i>

Таким образом, из табл. 2 следует, что в результате совместного анализа технологических особенностей мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации на примере Приозерного лесничества Архангельской области и Боровичского лесничества Новгородской обла-

сти в отношении ряда объектов биологического разнообразия установлено, что преобладающим мероприятием по сохранению биоразнообразия является установление буферных зон, а в отношении технологии лесосечных работ устанавливаются следующие ограничения:

1. В границах объекта рубки не проводятся, не прокладываются волока, не размещаются погрузочные площадки;

2. В границах лесосеки допускается оборудование переездов через объект (временные водотоки) не более двух раз. После разработки лесосеки переезды необходимо разобрать, чтобы обеспечить ток воды и не захламлять русла;

3. Высокие пни и валеж сохраняются все, вне технологической сети;

4. Участки делянки, представляющие собой данные местообитания (участки леса на каменистых россыпях), рубке не подлежат и исключаются из эксплуатационной части лесосек;

5. Пути прохождения техники не должны пересекать ключевые биотопы (участки леса на каменистых россыпях);

6. Камни на россыпях (участки леса на каменистых россыпях) нельзя перемещать и перекатывать, заваливать порубочными остатками;

7. Возможна вырубка отдельных товарных деревьев по краям ключевого биотопа (участки леса на крутых склонах) без заезда техники в отмеченные границы;

8. В исключительных случаях для обеспечения технической безопасности сухостойные деревья превращают в высокие пни (при машинной валке). При ручной валке убираются стволы (единичные перестойные, усыхающие и сухостойные хвойные и лиственные деревья), представляющие непосредственную опасность для работников;

9. Деревья с дуплами и мелкими гнездами не подлежат рубке, по возможности включаются в состав сохраняемых лесных участков;

10. В случае необходимости захода техники в пасеку валеж отодвигается в сторону, по нему не должна передвигаться техника (валеж на разных стадиях разложения);

11. Сохраняемые объекты (мертвая древесина всех пород на разных стадиях разложения, сухостой, высокие пни, валеж) не должны представлять опасности для жизни и здоровья работников при разработке лесосеки;

12. Оставляемые деревья (старовозрастные деревья (деревья предыдущих поколений)) нельзя валить во время рубки, и они не должны повреждаться при заготовке и трелевке древесины по делянке.

Ещё раз отметим, что в рассмотренных лесохозяйственных регламентах из мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ преобладает выделение буферных зон, а мероприятий, связанных с технологиями лесосечных работ, относительно немного.

Анализ практики выполнения мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации на основе технологических карт лесосечных работ показывает, что наиболее распространённым мероприятием по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ на лесосеках сплошных рубок служит оставление старовозрастных деревьев или групп старовозрастных деревьев.

*Обсуждение.* Необходимо отметить, что «биологическое разнообразие», или «биоразнообразие» – достаточно обширное понятие. Кроме того, Постановление Правительства РФ от 31.05.2025 № 813 «Об утверждении требований к предотвращению гибели объектов животного мира при осуществлении производственных процессов, а также при эксплуатации транспортных магистралей, трубопроводов и линий связи и электропередачи», вступившее в силу с 01.09.2025, при осуществлении лесопромышленных и лесохозяйственных производственных процессов однозначно требует: «При использовании лесов, планировании и осуществлении мероприятий по их охране, защите и воспроизводству необходимо предусматривать меры по охране объектов животного мира и среды их обитания, включая сохранение условий размножения объектов животного мира, нагула, отдыха и путей миграции в соответствии с целевым назначением защитных лесов и правовым режимом особо защитных участков лесов».

Здесь автор считает необходимым и уместным пояснить некоторые понятия, содержащиеся в вышеприведённом требовании. Согласно Федеральному закону от 24.04.1995 № 52-ФЗ «О животном мире»:

- Животный мир – совокупность живых организмов всех видов диких животных, постоянно или временно населяющих территорию Российской Федерации и находящихся в состоянии естественной свободы, а также относящихся к природным ресурсам континентального шельфа и исключительной экономической зоны Российской Федерации;
- Объект животного мира – организм животного происхождения (дикое животное);
- Биологическое разнообразие животного мира – разнообразие объектов животного мира в рамках одного вида, между видами и в экологических системах;

- Среда обитания животного мира – природная среда, в которой объекты животного мира обитают в состоянии естественной свободы;
- Охрана животного мира – деятельность, направленная на сохранение биологического разнообразия и обеспечение устойчивого существования животного мира, а также на создание условий для устойчивого использования и воспроизводства объектов животного мира;
- Устойчивое использование объектов животного мира – использование объектов животного мира, которое не приводит в долгосрочной перспективе к истощению биологического разнообразия животного мира и при котором сохраняется способность животного мира к воспроизводству и устойчивому существованию;
- Устойчивое существование животного мира – существование объектов животного мира в течение неопределенно длительного времени;
- Охрана среды обитания животного мира – деятельность, направленная на сохранение или восстановление условий устойчивого существования и воспроизводства объектов животного мира.

Автор убеждён, что вышеназванные определения специалистам лесной промышленности нужно знать для того, чтобы чётко понимать, что из себя должны представлять меры по охране объектов животного мира и среды их обитания. Почему этот вопрос представляется автору настолько важным? Потому, что именно по причине отсутствия проектирования и выполнения лесозаготовителями мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания происходит взыскание с них ущерба.

Поэтому автор предлагает при разработке лесохозяйственных регламентов или внесении в них изменений из обширного перечня мероприятия по сохранению биоразнообразия конкретизировать перечень мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания. Мало того, автор считает необходимым совместно с этим перечнем чётко пояснить и технологические особенности мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания.

Кроме того, автор настоятельно не рекомендует забывать о том фоне, на котором проводятся лесосечные работы. Существуют очень интересные, яркие публикации на данную тему, характеризующие ситуацию в современном охотничьем хозяйстве [Данилкин, 2022, 2024, 2025].

*Заключение.* Постановление Правительства РФ от 31.05.2025 № 813 требует при проведении лесосечных работ не абстрактных мер по сохранению биоразнообразия, а конкретных мер по охране объектов животного

мира и среды их обитания. На данный момент мероприятий с такой формулировкой в лесохозяйственных регламентах нет, а они необходимы.

Автор предлагает при разработке лесохозяйственных регламентов или внесении в них изменений из обширного перечня мероприятия по сохранению биоразнообразия конкретизировать перечень мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания. В современных условиях дело осложняется тем, что в законодательной сфере не существует чёткого перечня мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания, поэтому автор видит здесь повод для дальнейших научных исследований.

Также автор считает необходимым в рамках продолжения научных исследований по данной теме, кроме разработки чёткого и научно обоснованного перечня мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания, проработать вопросы применяемых систем машин и технологий выполнения мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания и интеграции этих мероприятий в технологии лесозаготовительного производства. Операторам лесных машин должно быть совершенно ясно, каких мероприятий от них требуют, и какова технология их выполнения. Это позволит избежать увеличения себестоимости продукции, минимизировать риски взыскания ущерба с лесозаготовителей, сохранять окружающую среду, биоразнообразие, объекты животного мира и среду их обитания.

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

### **Библиографический список**

*Баженова О.В., Осолодкина А.Ф., Иванищева Е.А., Золотова О.А.* Охрана видового разнообразия в региональных ландшафтных заказниках // Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие: сб. науч. ст. по мат. XI Всерос. науч.-практ. конф. с межд. уч. СПб., 2023. С. 397-400.

*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.

*Баишегуров К.А., Гавриленко А.Н., Розинкина Е.П., Попов А.С., Залесов С.В., Предедина Е.В.* Естественное лесовосстановление на вырубках в северо-таежном равнинном районе Западной Сибири // ИВУЗ. Лесной журнал. 2025. №1 (403). С. 58-70. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-58-70.

Беляков Д.В., Коношатов О.А., Корчагов С.А., Грибов С.Е. Сохранение видового разнообразия растений при лесопользовании в ключевых биотопах Вологодской области // ИВУЗ. Лесной журнал. 2024. №2 (398). С. 189–200. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-189-200.

Гаврилова О.И., Рачковский А.Н. Сукцессионные процессы после низовых лесных пожаров в ельниках черничных Карелии // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2023. № 64. С. 26-29.

Гаврилова О.И., Матвеев Е.Д., Юрьева А.Л. Оценка состояния почвенного и живого напочвенного покрова после пожаров в условиях Южной Карелии // Биотехнологии в инновационном лесоразведении и лесовосстановлении, мониторинг лесных и лесомелиоративных систем: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 2024. С. 46-52. DOI: 10.58168/BIARMFIRS2024\_46-52.

Галактионов О.Н., Васильев А.А., Елхова М.А., Кемпи Е.А., Гурьева Е.М. Методы управления развитием древостоев при проведении несплошных рубок // Resources and Technology. 2025. Т. 22, №2. С. 84-114. DOI: 10.15393/j2.art.2025.8563.

Данилкин А.А. О современном состоянии охотничьего хозяйства России: развитие... или застой? // Вестник охотоведения. 2022. Т. 19, №4. С. 178-184.

Данилкин А.А. Динамика населения диких копытных России: трофоклиматические прогнозы и реальность // Вестник охотоведения. 2024. Т. 21, №2. С. 125–134.

Данилкин А.А. Анализ реализации Стратегии развития охотничьего хозяйства в Российской Федерации до 2030 года: ресурсный аспект // Вестник охотоведения. 2025. Т. 22, №1. С. 33-40.

Залесов С.В., Итешина Н.М., Предеина И.В. Повышение эффективности лесопользования в еловых лесах // Инженеры России и Беларуси: сила в сотрудничестве: мат. Межд. науч.-практ. конф. Архангельск, 2024. С. 84-86.

Иванищева Е.А., Золотова О.А., Баженова О.В., Осолодкина А.Ф. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Вологодской области // Экологическое равновесие: геоэкология, краеведение, туризм: мат. XI Межд. науч.-практ. конф. СПб., 2023. С. 148-152.

Коношатов О.А., Корчагов С.А., Беляков Д.В., Грибов С.Е. Нормативно-правовая база в области сохранения биологического разнообразия при лесопользовании // Актуальные вопросы таежного и притундрового лесоводства на Европейском Севере России: мат. науч.-практ. конф. М., 2023. С. 337-344.

Корчагов С.А., Коношатов О.А., Беляков Д.В. Лесоводственно-экономическая оценка мер по сохранению ключевых биотопов на сплошных вырубках в Вологодской области // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. СПб., 2024. С. 176-182. DOI: 10.21178/160524.176.

Корчагов С.А., Сурина Е.А., Коношатов О.А., Минин Н.С., Гоголева Л.Г. Лесоводственная оценка комплексных рубок в лесах Вологодской области // ИВУЗ. Лесной журнал. 2025. №1 (403). С. 71-82. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-71-82.

Панченко Д.В., Ильина О.В. О сохранении местообитаний лесного северного оленя (*Rangifer tarandus fennicus* Lonnb.) в условиях интенсивной лесозексплуатации в Республике Карелия // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: докл. IV Всерос. науч. конф. доклады. Сыктывкар, 2023. С. 425-430.

Панченко Д.В., Кузнецова А.С., Ильина О.В. Использование местообитаний *Rangifer tarandus fennicus* в условиях интенсивного лесопользования в Республике Карелия (Северо-Запад России) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2025. Т. 10, №2. С. 58-75. DOI: 10.24189/ncr.2025.011.

Петров А.И., Котова В.С., Осипенко Р.А., Медведев С.А., Залесов С.В. Видовое разнообразие и надземная фитомасса живого напочвенного покрова в насаждениях на дражных отвалах // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №1 (81). С. 89-95. DOI: 10.48012/1817-5457\_2025\_1\_89-95.

Федоров Ф.В. Картирование объектов жизнедеятельности бобров в карельской части национального парка «Водлозерский» на основе аэрофотоснимков // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2024. №3. С. 75-85. DOI: 10.17076/eco1886.

## References

Bashegurov K.A., Gavrilenko A.N., Rozinkina E.P., Popov A.S., Zalesov S.V., Predeina I.V. Natural reforestation in deforestation in the North taiga plain region of Western Siberia. *BHEI. Russian forestry journal*, 2025, no. 1(403), pp. 58-70. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-58-70. (In Russ.)

Bazhenova O.V., Osolodkina A.F., Ivanishcheva E.A., Zolotova O.A. Protection of species diversity in regional landscape reserves. Natural and cultural heritage: interdisciplinary research, conservation and development: a collection of sci. articles based on the mat. of the XI All-Russ. sci.-pract. conf. with int. part. St. Petersburg, 2023, pp. 397-400. (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.)

Belyakov D.V., Konyushatov O.A., Korchagov S.A., Gribov S.E. Conservation of plant species diversity in forest management in key biotopes of the Vologda region. *BHEI. Russian forestry journal*, 2024, no. 2(398), pp. 189-200. DOI:10.37482/0536-1036-2024-2-189-200. (In Russ.)

Danilkin A.A. On the current state of the Russian hunting husbandry: development... or stagnation? *Bulletin of hunting science*, 2022, vol. 19, no. 4, pp. 178-184. (In Russ.)

Danilkin A.A. Dynamics of the population of wild ungulates in Russia: trophoclimatic forecasts and reality. *Bulletin of hunting science*, 2024, vol. 21, no. 2, pp. 125-134. (In Russ.)

Danilkin A.A. Analysis of the implementation of “The Strategy for the development of the hunting husbandry in the Russian Federation until 2030”: a resource aspect. *Bulletin of hunting science*, 2025, vol. 22, no. 1, pp. 33-40. (In Russ.)

Fedorov F.V. Mapping beaver infrastructure in the Karelian part of Vodlozersky National Park using aerial photographs. *Transactions of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2024, no. 3, pp. 75-85. DOI: 10.17076/eco1886. (In Russ.)

Galaktionov O.N., Vasilyev A.A., Elkhova M.A., Kempf E.A., Guryeva E.A. Methods for Managing Stand Development under Clear-Cutting Operations. *Resources and Technology*, 2025, vol. 22, no. 2, pp. 84-114. DOI: 10.15393/j2.art.2025.8563. (In Russ.)

Gavrilova O.I., Rachkovskiy A.N. Successional processes after grass-roots forest fires in blueberry spruce forests of Karelia. *Actual problems of the forest complex*, 2023, no. 64, pp. 26-29. (In Russ.)

Gavrilova O.I., Matveev E.D., Yuryeva A.L. Assessment of the state of soil and living ground cover after fires in South Karelia. *Biotechnologies in innovative afforestation and reforestation, monitoring of forest and forest reclamation systems: mat. of the All-Russ. sci.-pract. conf. Voronezh*, 2024, pp. 46-52. DOI: 10.58168/BIARMMFFRS2024\_46-52. (In Russ.)

Ivanishcheva E.A., Zolotova O.A., Bazhenova O.V., Osolodkina A.F. Prospects for the development of a network of specially protected natural territories in the Vologda region. *Ecological balance: geoecology, local history, tourism: proceedings of the XI Int. sci.-pract. conf. St. Petersburg*, 2023, pp. 148-152. (In Russ.)

Konyushatov O.A., Korzhagov S.A., Belyakov D.V., Gribov S.E. Regulatory and legal framework in the field of conservation of biological diversity in forest management. *Current issues of taiga and tundra forestry in the European North of Russia: proceedings of the sci.-pract. conf. Moscow*, 2023, pp. 337-344. (In Russ.)

Korzhagov S.A., Konyushatov O.A., Belyakov D.V. Forestry and economic assessment of measures to preserve key biotopes in clear cutting in the Vologda region. *Innovations and technologies in forestry: proceedings of the All-Russ. sci.-pract. conf. dedic. to the 95th anniversary of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. St. Petersburg*, 2024, pp. 176-182. DOI: 10.21178/160524.176. (In Russ.)

Korzhagov S.A., Surina E.A., Konyushatov O.A., Minin N.S., Gogoleva L.G. Forestry assessment of complex logging in the forests of the Vologda region. *BHEI. Russian forestry journal*, 2025, no. 1(403), pp. 71-82. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-71-82. (In Russ.)

Panchenko D.V., Kuznetsova A.S., Ilyina O.V. Habitat use of *Rangifer tarandus fennicus* in conditions of intensive forest management in the Republic of Karelia (North-West of Russia). *Nature Conservation Research. Protected science*, 2025, vol. 10, no. 2, pp. 58-75. DOI: 10.24189/ncr.2025.011. (In Russ.)

*Panchenko D.V., Ilyina O.V.* On the conservation of habitats of the forest reindeer (*Rangifer tarandus fennicus* Lonnb.) under conditions of intensive forest exploitation in the Republic of Karelia. *Biodiversity of ecosystems of the Far North: inventory, monitoring, protection*: rep. of IV All-Russ. sci. conf. Syktyvkar, 2023, pp. 425-430. (In Russ.)

*Petrov A.I., Kotova V.S., Osipenko R.A., Medvedev S.A., Zalesov S.V.* Species diversity and aboveground phytomass of living ground cover in plantations on drainage dumps. *Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy*, 2025, no. 1(81), pp. 89-95. DOI: 10.48012/1817-5457\_2025\_1\_89-95. (In Russ.)

*Zalesov S.V., Iteshina N.M., Predeina I.V.* Improving the efficiency of forest management in spruce forests. *Engineers of Russia and Belarus: the power of cooperation*: proceedings of the Int. sci.-pract. conf. Arkhangelsk, 2024, pp. 84-86. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 31.08.2025*

---

**Шадрин Р.А.** Технологические аспекты мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ, содержащихся в лесохозяйственных регламентах лесничеств Северо-Запада Российской Федерации // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 393–412. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.393-412

Работа посвящена изучению технологических аспектов мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ, содержащихся в лесохозяйственных регламентах лесничеств Северо-Запада Российской Федерации. Этот вопрос представляется автору очень важным, потому что именно по причине отсутствия проектирования и выполнения лесозаготовителями мероприятий по охране объектов животного мира и среды их обитания происходит взыскание с них ущерба. Целью исследования служит анализ мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ, содержащихся в лесохозяйственных регламентах лесничеств Северо-Запада Российской Федерации, для определения технологических особенностей их проведения лесозаготовителями. Задачи исследования: проанализировать современную нормативно-методическую основу мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ; проанализировать практику выполнения мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации; на основании этого анализа определить технологические особенности мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации. В результате совместного анализа технологических особенностей мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ

в условиях лесничеств Северо-Запада Российской Федерации на примере Приозерного лесничества Архангельской области и Боровичского лесничества Новгородской области в отношении ряда объектов биологического разнообразия установлено, что преобладающим мероприятием по сохранению биоразнообразия является установление буферных зон, а в отношении технологии лесосечных работ установлен ряд ограничений, среди которых: отсутствие проведения рубок, прокладки волоков, размещения погрузочных площадок в границах объекта; высокие пни и валеж должны сохраняться вне технологической сети; необходимость после разработки лесосеки разбирать проезды через временные водотоки, чтобы обеспечить ток воды и не захламлять русла и т.д.

Ключевые слова: биологическое разнообразие, лесосечные работы, технология лесозаготовительных производств, объекты животного мира, мероприятия по охране объектов животного мира и среды их обитания.

**Shadrin R.A.** Technological aspects of biodiversity conservation measures during logging operations contained in the forestry regulations of the forestry districts of the North-West of the Russian Federation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoi Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 393–412 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.393-412

The work is devoted to the study of technological aspects of biodiversity conservation measures during logging operations contained in the forestry regulations of the forestry districts of the North-West of the Russian Federation. This issue seems to be very important to the author, because it is precisely because of the lack of design and the failure of loggers to take measures to protect wildlife and their habitat they have to pay for the damage. The purpose of this study is to analyze the measures for the conservation of biodiversity during logging operations contained in the forestry regulations of the forestry districts of the North-West of the Russian Federation in order to determine the technological features of their implementation by loggers. Research objectives: to analyze the modern regulatory and methodological framework for biodiversity conservation measures during logging operations; to analyze the practice of carrying out measures for the conservation of biodiversity during logging operations in the conditions of forestry in the North-West of the Russian Federation; based on this analysis, to determine the technological features of measures for the conservation of biodiversity during logging operations in the conditions of forestry in the North-West of the Russian Federation. As a result of a joint analysis of the technological features of biodiversity conservation measures during logging operations in the forestry areas of the North-West of the Russian Federation, using the example of the Priozerly Forest District of the Arkhangelsk Region and the Borovichi Forest District of the Novgorod Region for a number of biological diversity sites, it was found that the predominant biodiversity conservation measure is the establishment of

buffer zones, and with regard to logging technology, a number of restrictions, among which: no logging, no laying of portages, non-placement of loading platforms within the boundaries of the facility; high stumps and fallen trees should be preserved outside the technological network; the need to dismantle crossings through temporary watercourses after the development of the cutting area in order to ensure the flow of water and not clutter the riverbed, etc.

**Key words:** biological diversity, logging operations, technology of logging industries, wildlife objects, measures for the protection of wildlife objects and their habitat.

---

**ШАДРИН Роман Александрович** – старший преподаватель 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, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 1768-1512.

19402., Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: shadrin-ra1976@yandex.ru

### **3. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ**

---

УДК 676.16.022.6.034; 676.164.2; 676.166.6

**А.В. Вураско, А.Л. Шерстобитов, И.А. Губанов, В.П. Сиваков**

#### **ПОЛУЧЕНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ВАРКОЙ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ КОНОПЛИ ТЕХНИЧЕСКОЙ**

*Введение.* Техническая целлюлоза и ее производные служат исходным сырьем для многих видов химической продукции: карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), микрокристаллической целлюлозы [Александров и др., 2024; Barbash et al., 2016], искусственного волокна (вискозное, ацетатное, медно-аммиачное), пластмасс, пленок (целлофана) и др. Обычно высококачественные эфиры целлюлозы в производстве ответственных изделий для оборонной промышленности и гражданской продукции изготавливаются из хлопковой целлюлозы. Качество продукции и стабильные свойства хлопковой целлюлозы, поставляемой в Россию из Узбекистана и Казахстана, оставляют желать лучшего [Тихомиров и др., 2001; Смирнов и др., 2011]. При промышленной переработке конопли путем декортикации происходит отделение волокна конопли (пенька) от костры. Костра эффективно перерабатывается натронным способом в тароупаковочные виды бумаги [Агеев и др., 2023], а волокно – в волокнистый материал с высоким содержанием альфа целлюлозы [Вураско и др., 2022а, b]. Для выделения целлюлозы из волокон и костры конопли использовали ступенчатый натронно-сульфатный, ступенчатый натронно-каталитический [Александров и др., 2021], окислительно-органосольвентный [Вураско и др., 2022b], натронно-антрахиноновый [Александрин и др., 2007], перукусный и пероксидный [Жаретникова и др., 2018] способы. При некоторых способах переработки стеблей конопли костра содержит достаточно большое количество мелкого лубяного волокна, отделив которое, можно получить качественное сырье для получения целлюлозы, например, окислительно-органосольвентным способом с предварительной щелочной обработкой [Вураско и др., 2023].

*Цель работы* – оценка эффективности апробации комбинированной двухступенчатой натронной окислительно-органоcольвентной варки отходов переработки конопли технической для получения технической целлюлозы.

*Методика исследования.* Объекты исследования – лубяное волокно и костра (вегетационный период 2019 г., Ивановская обл.) и отходы переработки конопли технической (вегетационный период 2022 г., Ивановская обл.). Лубяные волокна конопли предварительно разрезали на отрезки длиной 15...20 мм. Костру просеивали и использовали фракции, задержанные на сите с отверстиями диаметром 0,15 см и прошедшие через сито с отверстиями диаметром 0,7 см. Отсортированную фракцию промывали и высушивали. Отходы переработки конопли отделяли от костры просеиванием на вибросортировке ВП-300. Содержание волокон –70%, костры конопли – 30%. Для определения компонентного состава сырья образцы измельчали на лабораторной мельнице. Компонентный состав сырья представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Компонентный состав растительного сырья**

**The component composition of vegetable raw materials**

Показатели, % от массы абсолютно сухого сырья (а.с.с.)	Конопля техническая		
	отходы переработки	волокно	костра
Массовая доля экстрактивных веществ, растворимых: в ацетоне (ГОСТ 6841); в горячей воде	1,9±0,2	0,4±0,5	1,2±0,5
	3,4±0,2	5,6±0,5	3,3±0,5
Массовая доля целлюлозы Кюршнера-Хоффера [Азаров и др., 2010 ]	56,7±1,0	68,3±1,0	40,3±1,0
Массовая доля лигнина (ГОСТ 11960)	21,7±0,2	6,6±0,2	25,5±0,2
Массовая доля золы (ГОСТ 18461)	1,1±0,1	2,3±0,1	1,6±0,1

*Проведение первой ступени – натронной варки.* Натронные варки отходов конопли технической проводили при условиях: гидромодуль – 5:1; расход NaOH – 20...24% в ед. Na<sub>2</sub>O, % от а.с.с.; подъем температуры до 170°С – 40 мин; варка при 170 °С – 120 мин.

*Проведение второй ступени – окислительно-органоcольвентной делигнификации.* Делигнификацию проводили композицией реагентов, содержащей равновесную перуксусную (рПУК), укcусную кислоты и пероксид водорода в заданных соотношениях. Расход композиции (в пересчете на рПУК к а.с.с.) равен 0,8 г/г а.с.с. при гидромодуле 10:1, подъем температуры до ва-

рочной – 15 минут, при температуре варки 90°C варку производили в течение 90 мин. С целью исследования кинетики и процесса варки во время окислительно-органо-сольвентной делигнификации проводили отбор проб волокнистого полуфабриката и варочного раствора. Анализ расходования основных компонентов проводили титрованием тиосульфатом натрия (для рПУК) и перманганатом натрия для пероксида водорода. При оценке кинетических характеристик учтено термическое разложение перуксусной кислоты и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Полученную целлюлозу анализировали по показателям: влажность (ГОСТ 16932); содержание α-целлюлозы (ГОСТ 6840); содержание лигнина (ГОСТ 11960).

*Результаты исследования.* Из табл. 1 видно, что компонентный состав волокон конопли существенно отличается от состава костры. Лубяные волокна содержат лигнина в 3,9 раз меньше, а целлюлозы в 1,7 раз больше, чем костра. Остальные компоненты находятся в сопоставимых диапазонах. Отходы переработки конопли содержат лигнин, золу и экстрактивные вещества в количествах, сопоставимых с кострой, а по содержанию целлюлозы значительно превосходят их.

*Первая ступень – натронная варка.* В ходе натронной варки получен натронный полуфабрикат. Результаты варки представлены в табл. 2.

Таблица 2

### Результаты натронных варок

#### The results of natron brews

Показатель	Расход NaOH в ед. Na <sub>2</sub> O, % от а.с.с.		
	20	22	24
Выход натронного полуфабриката, % от а.с.с.	58,7±0,5	57,7±0,5	57,2±0,5
Содержание лигнина, % от абсолютно сухого натронного полуфабриката	8,9±0,2	7,6±0,2	6,5±0,2

Из табл. 2 видно, что с увеличением расхода щелочи выход натронного полуфабриката и содержание лигнина снижаются. Так, лигнин при самом высоком расходе щелочи снижается до 6,5%, что ниже на 3,5%, чем при щелочной обработке 0,5 н. раствором NaOH 60 мин и органо-сольвентной варке 60 мин с расходом 0,8 г/г а.с.с. [Губанов и др., 2024]. При щелочной варке, в заданных условиях, на один процент удаленного лигнина разрушается от 2,8 до 3,2% углеводов.

*Вторая ступень – окислительно-органо-сольвентная делигнификация.* В ходе второй ступени получена техническая целлюлоза. Для установления вза-

имосвязи между расходом пероксидных соединений и продолжительностью варки, выходом, содержанием лигнина,  $\alpha$ -целлюлозы исследована кинетика процесса окислительно-органосольвентной делигнификации натронного полуфабриката. Изменение концентраций рПУК и  $H_2O_2$  в зависимости от продолжительности делигнификации натронных полуфабрикатов, полученных с расходами 20, 22 и 24 NaOH в ед.  $Na_2O$ , % от а.с.с., представлено на рис. 1.

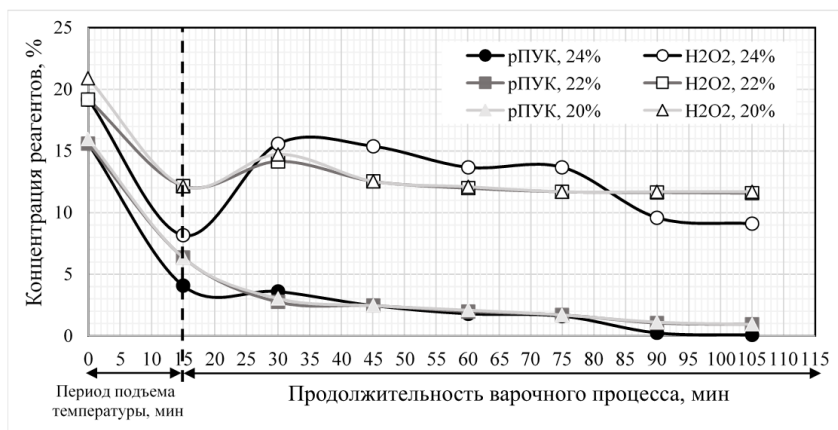


Рис. 1. Зависимость изменения концентрации рПУК и  $H_2O_2$  от продолжительности окислительно-органосольвентной делигнификации натронного полуфабриката

Fig. 1. Dependence of the change in the concentration of RPK and  $H_2O_2$  on the duration of oxidative-organosolvent delignification of a sodium semi-finished product

Из рис. 1 видно, что в период подъема температуры до варочной происходит значительное снижение концентрации варочных компонентов: рПУК снижается в 2,5–3,9 раза, а  $H_2O_2$  – в 1,6–2,3 раза в зависимости от расхода равновесной перуксусной кислоты к абсолютно сухому натронному полуфабрикату. В период подъема температуры происходит проникновение раствора внутрь волокон и сорбция активных компонентов на их поверхности. Особенно это заметно для процесса делигнификации натронного полуфабриката, полученного с расходом 24% от а.с.с. Очевидно, что более делигнифицированная клеточная стенка обладает лучшими сорбционными свойствами (табл. 2).

Основная стадия делигнификации характеризуется равномерным, практически полным расходом рПУК. При делигнификации

натронного полуфабриката, полученного при расходе 24% в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  от а.с.с., расходуется 97% рПУК, а при делигнификации натронного полуфабриката, полученного при расходах 20 и 22% от а.с.с. – 85% рПУК. Концентрация пероксида водорода при достижении температуры основной стадии делигнификации за 15 мин увеличивается в 1,2–1,9 раза и монотонно убывает, аналогично рПУК, до концентраций 9,1–11,7%, или в 1,2–1,7 раза. Таким образом, на протяжении стадии окислительно-органосольвентной делигнификации натронного полуфабриката рПУК является основным делигнифицирующим агентом, а пероксид водорода служит «буферным» источником для поддержания необходимой концентрации рПУК.

Для количественной оценки зависимости скорости делигнификации от продолжительности варки и расхода рПУК были определены константы скорости реакций ( $K_p$ ). Процесс описывается уравнением реакции I порядка [Галимова и др., 2007]. Данные представлены на рис. 2.

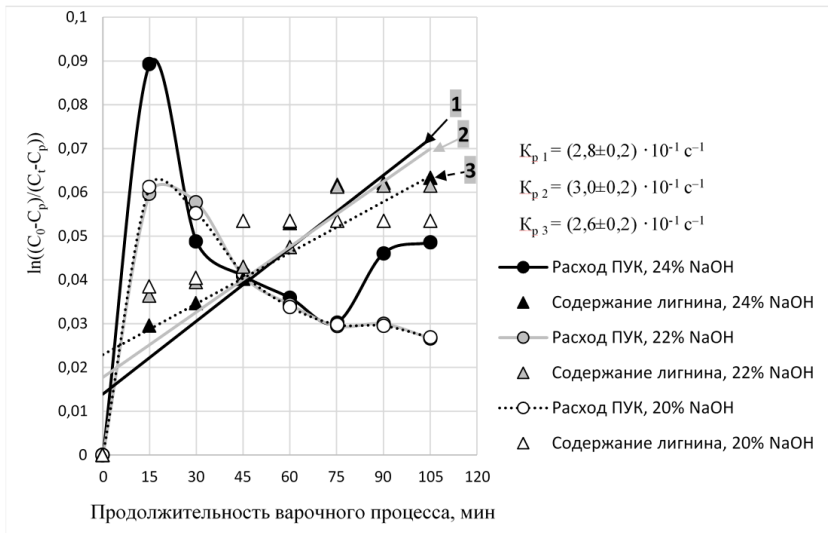


Рис. 2. Зависимость  $\ln((C_0 - C_p)/(C_t - C_p))$  от продолжительности органосольвентной делигнификации натронного полуфабриката расходом  $\text{NaOH}$  в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  20...24% от а.с. полуфабриката

Fig. 2. In dependence  $\ln((C_0 - C_p)/(C_t - C_p))$  from the duration of organosolvent delignification of a sodium semi-finished product with a consumption of  $\text{NaOH}$  in units of  $\text{Na}_2\text{O}$  20 % of the total amount of the semi-finished product

Из рис. 2 видно, что более активное расходование рПУК происходит во время подъема температуры в первые 15 мин. Для всех варок средняя константа скорости реакции одинакова с учетом погрешности и равна  $(2,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$ . Константа скорости реакции при применении на первой ступени натронной варки (температура 170 °С) значительно выше, чем при щелочной обработке с температурой 90 °С –  $(3,0) \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , [Галимова и др., 2007].

Для оценки влияния стадии натронной варки на результаты органосольтвенной делигнификации определены выход технической целлюлозы (рис. 3) и массовая доля лигнина в ней (рис. 4).

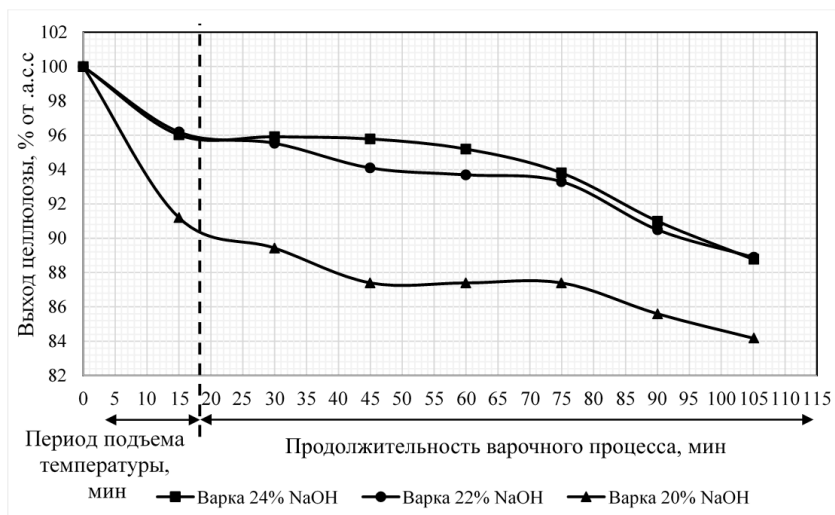


Рис. 3. Зависимость выхода целлюлозы от продолжительности органосольтвенной делигнификации натронного полуфабриката

Fig. 3. Dependence of the cellulose yield on the duration of organosolvent delignification of a sodium semi-finished product

Из полученных результатов видно, что роль органосольтвенной делигнификации заключается в удалении остаточного лигнина в мягких условиях процесса (рис. 3, 4).

При натронной варке с расходом 20% в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  от а.с.с. удаляется 59% лигнина. Потери в выходе при органосольтвенной делигнификации за время подъема температуры составляют около 9%, из них 6,4% приходится на долю лигнина, а при достижении температуры варки потери выхода со-

составляют 3,8% из них на долю лигнина приходится только 1,4%. При натронной варке с расходами 22% и 24% в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  от а.с.с. удаляется в среднем 65 и 70% лигнина соответственно, при органосольвентной делигнификации наблюдается снижение выхода на 4% и лигнина на 4,8 и 3,0% за время подъема температуры до варочной. В период варки от 0 до 75 минут на 1% потери выхода происходит удаление 1% лигнина, то есть во время органосольвентной делигнификации удаляется только лигнин.

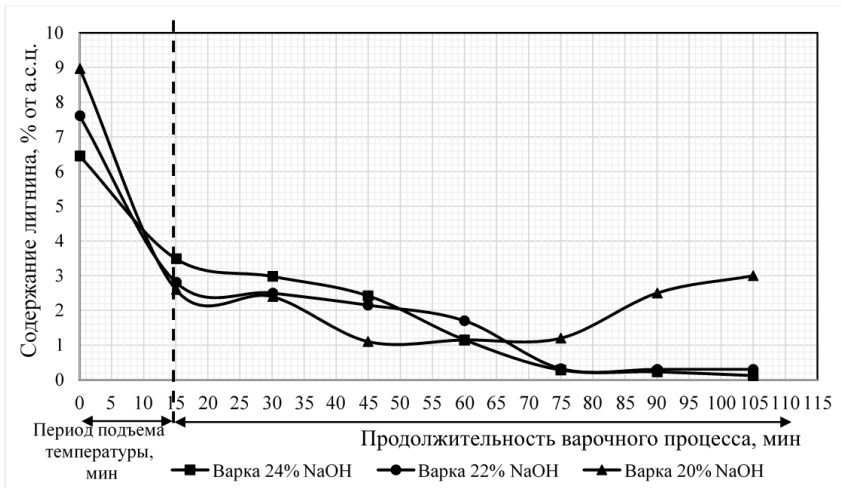


Рис. 4. Зависимости массовой доли лигнина от продолжительности органосольвентной делигнификации натронного полуфабриката

Fig. 4. Dependences of the mass fraction of lignin on the duration of organosolvent delignification of a sodium semi-finished product

Из рис. 3 и 4 следует, что окислительно-органосольвентную делигнификацию следует проводить не более 75 мин.

На рис. 5 представлены гистограммы зависимости выхода технической целлюлозы и содержания  $\alpha$ -целлюлозы и лигнина в ней от продолжительности щелочной варки и органосольвентной делигнификации.

Из представленных результатов видно, что при варке отходов переработки конопли с продолжительностью щелочной варки 120 мин при расходе щелочи 24% в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  от а.с.с. и последующей окислительно-органосольвентной делигнификации в течение 30 мин возможно получение технической целлюлозы с выходом 54,9% от массы а.с.с., массовой долей лигнина 3% и  $\alpha$ -целлюлозой 88,9% от технической целлюлозы.

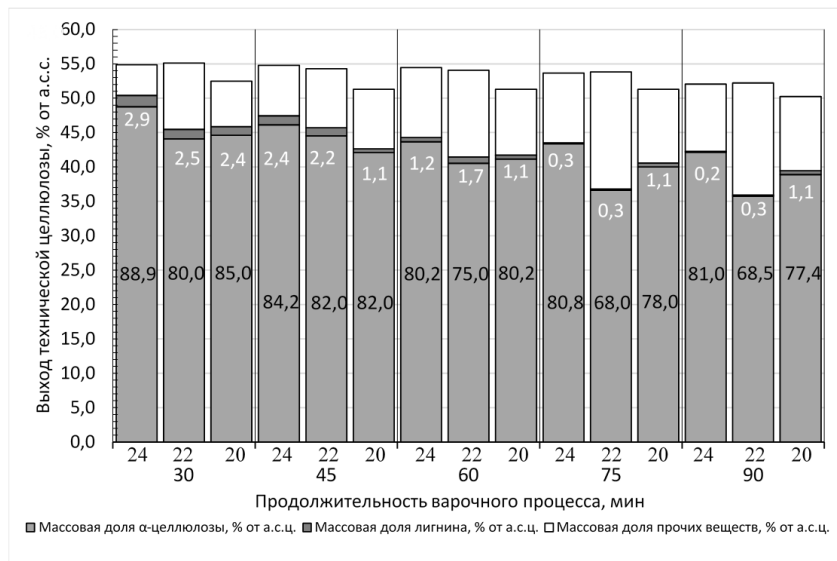


Рис. 5. Зависимости выхода технической целлюлозы и содержания  $\alpha$ -целлюлозы и лигнина в ней от продолжительности щелочной варки и органосольвентной делигнификации

Fig. 5. Dependences of the yield of technical cellulose and the content of alpha-cellulose and lignin in it on the duration of alkaline cooking and organosolvent delignification

В состав прочих веществ входят смолистые вещества, гемицеллюлозы и зола в разных соотношениях.

**Выводы.** Установлено, что на первой ступени (щелочная варка) в заданных условиях на один процент удаленного лигнина разрушается от 2,8 до 3,2% углеводов. Получен натронный полуфабрикат с выходом 58,7; 57,7; 57,2% от а.с.с. и массовой долей лигнина 8,9; 7,6; 6,5% от абсолютно сухого натронного полуфабриката, в зависимости от расхода активной щелочи.

Показано, что на второй ступени в период подъема температуры до варочной происходит значительное снижение концентрации варочных компонентов: рПУК снижается в 2,5–3,9 раза, а  $H_2O_2$  в – 1,6–2,3 раза в зависимости от расхода рПУК к абсолютно сухому натронному полуфабрикату. Основная стадия делигнификации характеризуется полным расходом рПУК.

Выявлено, что для всех окислительно-органо-сольвентных варок средняя константа скорости реакции одинакова с учетом погрешности и равна  $(2,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$ .

Показано, что при ступенчатой варке отходов переработки конопли с продолжительностью щелочной варки 120 мин при расходе щелочи 24% в ед.  $\text{Na}_2\text{O}$  от а.с.с. и последующей окислительно-органо-сольвентной делигнификации в течение 30 мин возможно получение технической целлюлозы с выходом 54,9% от массы а.с.с., массовой долей лигнина 3% и α-целлюлозой 88,9% от технической целлюлозы.

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

### **Библиографический список**

*Агеев М.А., Вураско А.В., Шерстобитов А.Л., Губанов И.А.* Исследование возможности получения тароупаковочных видов бумаги из костры конопли // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: мат. VII Межд. науч.-тех. конф. им. профессора В.И. Комарова. Архангельск, 2023. С. 70–75.

*Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В.* Химия древесины и синтетических полимеров: учебник. СПб: СПбЛТА, 2010. 624 с.

*Александрин А.П., Комягин Е.А., Мынин В.Н., Петров В.В., Терпугов Г.В., Терпугов Д.Г.* Способ получения целлюлозы из технической конопли. Патент на изобретение RU 2360055 С2, 27.06.2009. Заяв. № 2007103225/12 от 29.01.2007.

*Александров А.А., Валишина З.Т., Момзякова К.С., Дебердеев Т.Р., Ямашев Т.А., Канарский А.В., Дебердеев Р.Я.* Сравнительный анализ способов получения целлюлозы из конопляного волокна и оценка ее качества // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24, №8. С. 42–45.

*Александров А.А., Момзякова К.С., Дебердеев Т.Р., Канарский А.В., Дебердеев Р.Я., Ямашев Т.А., Канарская З.А.* Получение микрокристаллической целлюлозы из тресты технической конопли // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 297–309. DOI: 10.21266/20794304.2024.249.297-309.

*Вураско А.В., Агеев М.А., Дудорова А.Ю., Минакова А.Р.* Окислительно-органо-сольвентная делигнификация лубяных волокон конопли технической // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сб. мат. IX Всерос. конф., посвящ. 55-летию Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова. Чебоксары, 2022а. С. 142–143.

*Вураско А.В., Агеев М.А., Дудорова А.Ю., Минакова А.Р.* Целлюлоза из волокон конопли технической, полученная окислительно-органо-сольвентным способом // Химия и технология растительных веществ: тез. докл. XII Всерос. науч. конф. с межд. уч. и шк. молодых ученых. Киров, 2022b. С. 34.

Вураско А.В., Шерстобитов А.Л., Кривоногов П.С. Получение целлюлозы окислительно-органо-солевным способом из отходов переработки конопли технической // Химия. Экология. Урбанистика. 2023. Т. 3. С. 206–210.

Галимова А.Р., Вураско А.В., Дрикер Б.Н., Земнухова Л.А., Федорищева Г.А. Получение волокнистых полуфабрикатов при комплексной переработке соломы риса // Химия растительного сырья. 2007. №3. С. 47-53.

Губанов И.А., Вураско В.А., Вураско А.В. Получение целлюлозы из отходов переработки конопли технической // Химия. Экология. Урбанистика. 2024. Т. 2. С. 128-131.

Каретникова Н.В., Чендылова Л.В., Пен Р.З. Делигнификация льняной коры // Химия растительного сырья. 2018. №1. С. 155–162. DOI: 10.14258/jcprgm.2018012757.

Смирнов А.А., Серков В.А., Зеленина О.Н. К вопросу общей концепции инновационного развития отечественного коноплеводства. // Достижения науки и техники АПК. 2011. №12. С. 34-35.

Тихомиров В.Т., Барашкин В.А., Зеленина О.Н. Перспективы и основные направления использования продуктов переработки конопли // Сельскохозяйственная биология. 2001. №5. С. 24-30.

Barbash V., Karakutsa M., Trembus I., Yashchenko O. Development the technology of obtaining microcrystalline cellulose from the hemp fibers // Eastern-european journal of enterprise technologies. 2016. Vol. 3, no. 6 (81). P. 51-56. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71275.

## References

Ageev M.A., Vurasko A.V., Sherstobitov A.L., Gubanov I.A. Investigation of the possibility of obtaining taropackage types of paper from hemp bark. *Problems of mechanics of pulp and paper materials*: proceedings of the VII Int. sci.-tech. conf. named after professor V.I. Komarov. Arkhangelsk, 2023, pp. 70-75. (In Russ.)

Aleksandrin A.P., Komyagin E.A., Mynin V.N., Petrov V.V., Terpugov G.V., Terpugov D.G. Method of obtaining cellulose from industrial hemp. Patent for invention RU 2360055 C2, 06.27.2009. Appl. No. 2007103225/12 dated 01.29.2007. (In Russ.)

Aleksandrov A.A., Valishina Z.T., Momzyakova K.S., Deberdeev T.R., Yamashev T.A., Kanarskiy A.V., Deberdeev R.Ya. Comparative analysis of methods for obtaining cellulose from hemp fiber and evaluation of its quality. *Herald of Technological University*, 2021, vol. 24, no. 8. pp. 42-45. (In Russ.)

Aleksandrov A.A., Momzyakova K.S., Deberdeev T.R., Kanarskiy A.V., Deberdeev R.Ya., Yamashev T.A., Kanarskaya Z.A. Obtaining microcrystalline cellulose from technical hemp trusts. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 297-309. DOI: 10.21266/20794304.2024.249.297-309. (In Russ.)

*Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V.* Chemistry of wood and synthetic polymers. Textbook. St. Petersburg: SPbLTA, 2010. p.624.

*Barbash V., Karakutsa M., Trembus I., Yashchenko O.* Development the technology of obtaining microcrystalline cellulose from the hemp fibers. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 2016, vol. 3, no. 6 (81), pp. 51–56. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71275.

*Galimova A.R., Vurasko A.V., Driker B.N., Zemnukhova L.A., Fedorishcheva G.A.* Production of fibrous semi-finished products in complex processing of rice straw. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2007, no. 3, pp. 47-53. (In Russ.)

*Gubanov I.A., Vurasko V.A., Vurasko A.V.* Obtaining cellulose from industrial hemp processing waste. *Chemistry. Ecology. Urbanistics*, 2024, vol. 2, pp. 128–131. (In Russ.)

*Karetnikova N.V., Chendylova L.V., Pen R.Z.* Delignification of flax bonfire. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2018, no. 1, pp. 155-162. DOI: 10.14258/jcprm.2018012757. (In Russ.)

*Smirnov A.A., Serkov V.A., Zelenina O.N.* On the issue of the general concept of innovative development of domestic hemp breeding. *Achievements of science and technology of the Agroindustrial complex*, 2011, no. 12, pp. 34-35. (In Russ.)

*Tikhomirov V.T., Barashkin V.A., Zelenina O.N.* Prospects and main directions of using cannabis processing products. *Agricultural Biology*, 2001, no. 5, pp. 24–30. (In Russ.)

*Vurasko A.V., Ageev M.A., Dudorova A.Yu., Minakova A.R.* Oxidative-organosolvent delignification of technical hemp bast fibers. *Actual issues of chemical technology and environmental protection: collection of mat. of the IX All-Russ. conf. dedic. to the 55th anniversary of the Chuvash Republic State University named after I.N. Ulyanov*. Cheboksary, 2022a, pp. 142–143. (In Russ.)

*Vurasko A.V., Ageev M.A., Dudorova A.Yu., Minakova A.R.* Cellulose from technical hemp fibers obtained by the oxidative-organosolvent method. *Chemistry and technology of plant substances: abstr. of the XII All-Russ. sci. conf. with int. part. and the school of young scientists*. Kirov, 2022b, p. 34. (In Russ.)

*Vurasko A.V., Sherstobitov A.L., Krivonogov P.S.* Obtaining cellulose by the oxidative-organosolvent method from hemp processing waste. *Chemistry. Ecology. Urbanistics*, 2023, vol. 3, pp. 206–210. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 05.04.2025*

---

**Вураско А.В., Шерстобитов А.Л., Губанов И.А., Сиваков В.П.** Получение волокнистых материалов комбинированной варкой отходов переработки конопли технической // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 413–426. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.413-426

Цель работы – оценка эффективности апробации комбинированной двухступенчатой натронной окислительно-органо-сольвентной варки отходов переработки конопли технической для получения целлюлозы. Компонентный состав сырья: массовая доля смол и жиров – 1,9%, веществ, растворимых в горячей воде – 3,4%, целлюлозы – 56,7%, лигнина – 21,7%, золы – 1,1%. Условия натронной варки: гидромодуль – 5:1; расход NaOH – 20...24% в ед. Na<sub>2</sub>O, % от абс. сух. сырья; подъем температуры до 170 °С – 40 мин; варка при 170 °С – 120 мин. Условия окислительно-органо-сольвентной делигнификации: расход равновесной перуксусной кислоты – 0,8 г/г абс. сух. сырья, гидромодуль – 10:1, подъем температуры до варочной – 15 минут, температура варки – 90 °С, продолжительность – 90 мин. На первой ступени (щелочная варка) на один процент удаленного лигнина разрушается от 2,8 до 3,2% углеводов в зависимости от расхода активной щелочи. На второй ступени в период подъема температуры до варочной происходит значительное снижение концентрации варочных компонентов: рПУК снижается в 2,5–3,9 раза, а H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – в 1,6–2,3 раза в зависимости от расхода рПУК к абсолютно сухому натронному полуфабрикату. Основная стадия делигнификации характеризуется полным расходом рПУК. Для всех вариантов окислительно-органо-сольвентной делигнификации константа скорости реакции равна  $(2,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$ . При ступенчатой варке отходов переработки конопли с продолжительностью щелочной варки 120 мин при расходе щелочи 24% в ед. Na<sub>2</sub>O от абс. сух. сырья и последующей окислительно-органо-сольвентной делигнификации в течение 30 мин возможно получение технической целлюлозы с выходом 54,9% от массы абс. сух. сырья, массовой долей лигнина 3% и α-целлюлозой 88,9% от технической целлюлозы.

**Ключевые слова:** ступенчатая варка, органо-сольвентная делигнификация, натронная варка, конопля техническая, α-целлюлоза, лигнин, выход целлюлозы, перуксусная кислота, пероксид водорода.

**Vurasko A.V., Sherstobitov A.L., Gubanov I.A., Sivakov V.P.** Production of fibrous materials by combined cooking of technical hemp processing waste. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 413–426 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.413-426

The purpose of the work is to evaluate the effectiveness of testing combined two-stage sodium oxidative-organosolvent cooking of industrial hemp processing waste for the production of cellulose. The component composition of the raw material: the mass fraction of resins and fats is 1.9%, substances soluble in hot water are 3.4%, cellulose is 56.7%, lignin is 21.7%, ash is 1.1%. Conditions of sodium cooking: hydromodule – 5:1; consumption of NaOH – 20...24% in units of Na<sub>2</sub>O, % of abs. dry raw materials; temperature rise to 170 °C – 40 min; cooking at 170 °C – 120 min. Conditions of oxidative-organosolvent delignification: consumption of equilibrium peracetic acid – 0.8 g/g abs. dry raw materials, hydraulic module – 10:1, temperature rise to cooking –

15 min, cooking temperature – 90°C, duration – 90 min. At the first stage (alkaline cooking), 2.8 to 3.2% of carbohydrates are destroyed per one percent of the removed lignin, depending on the consumption of active alkali. At the second stage, during the temperature rise to the cooking point, there is a significant decrease in the concentration of cooking components: RPA decreases by 2.5-3.9 times, and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> by 1.6-2.3 times, depending on the consumption of RPA for an absolutely dry soda semi-finished product. The main stage of delignification is characterized by the complete expenditure of RPA. For all variants of oxidative-organosolvent delignification, the reaction rate constant is  $(2.8 \pm 0.2) \cdot 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ . During step-by-step cooking of cannabis processing waste with an alkaline cooking duration of 120 minutes at an alkali consumption of 24% in units of Na<sub>2</sub>O from abs. dry. raw materials and subsequent oxidation-organosolvent delignification within 30 minutes can produce technical cellulose with a yield of 54.9% of the mass of abs. dry raw materials with a mass fraction of lignin of 3% and alpha-cellulose of 88.9% of technical cellulose.

**Key words:** step cooking, organosolvent delignification, sodium cooking, technical hemp, alpha cellulose, lignin, cellulose yield, peracetic acid, hydrogen peroxide.

---

**ВУРАСКО Алеся Валерьевна** – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук.

620100, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: vurasko2010@yandex.ru

**VURASKO Alesya V.** – DSc (Technical), Professor, Department of Technology of Pulp and Paper Industries and Polymer Processing, Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: vurasko2010@yandex.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: sherstobitov@m.usfeu.ru

**SHERSTOBITOV Aleksey L.** – Assistant, Department of Technologies of Pulp and Paper Production and Polymer Processing, Ural State Forest Engineering University.

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: sherstobitov@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, Department of Technologies of Pulp and Paper Production and Polymer Processing, Ural State Forest Engineering University

620100. Siberian tract str. 37. Yekaterinburg. Russia. E-mail: gubanovia@m.usfeu.ru

**СИВАКОВ Валерий Павлович** – профессор кафедры технологических машин и технологии машиностроения Уральского государственного лесотехнического университета, доктор технических наук.

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

**SIVAKOV Valeriy P.** – DSc (Technical), Professor, 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

**М. Акулов, А.А. Спицын, В.А. Жуков, Н.А. Молчанова**

## **СОВМЕСТНЫЙ ПИРОЛИЗ БИОМАССЫ С ТЕХНИЧЕСКИМ ГЛИЦЕРИНОМ**

*Введение.* На сегодняшний день лесопромышленный комплекс России является одним из ведущих секторов экономики. Он включает в себя промышленные производства, которые используют лесное сырьё для получения новых материалов: к таким отраслям относятся лесозаготовительная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная и лесохимическая промышленности.

Древесина и другие формы биомассы, включая энергетические культуры, а также отходы сельского и лесного хозяйства, являются одними из основных доступных возобновляемых источников энергии. Они могут стать единственным источником возобновляемого жидкого, газообразного и твёрдого топлива [Nigam, Singh, 2010]. Биомасса является возобновляемым источником энергии с наибольшим потенциалом для удовлетворения энергетических потребностей современного общества как в развитых, так и в развивающихся странах мира [Ullah et al., 2015]. Энергия из биомассы, полученная из лесного хозяйства с коротким оборотом и других энергетических культур, может внести существенный вклад в достижение целей Киотского соглашения по сокращению выбросов парниковых газов и решению проблем, связанных с изменением климата [Hall, 2002].

В 2010 г. годовой оборот биоиндустрии в мире составил более 2 триллионов долларов, но на долю России пришлось всего 0,2% [Куликов и др., 2012]. Объёмы отходов лесоперерабатывающих предприятий только в Ленинградской области достигают 250–300 тыс. м<sup>3</sup> ежегодно [Шувалов, 2002].

Топливо из биомассы на самом деле можно считать нейтральным по отношению к выбросам CO<sub>2</sub>, и оно имеет очень низкое содержание серы по сравнению со многими видами ископаемого топлива. Кроме того, поскольку оно жидкое, его легко транспортировать и хранить. Однако свойства такого топлива также вызывают ряд серьезных проблем при использовании в стандартном оборудовании, таком как котлы, двигатели и газовые турбины, предназначенные для сжигания топлива, полученного из нефти. Слабая летучесть, высокая вязкость, коксование и коррозионная активность ограничивают область применения топлива из биомассы. Кроме того, оно еще не является коммерчески доступным продуктом и не соответствует стандартам качества, необходимым для рынка.

Перспективное направление утилизации растительных отходов методом пиролиза биомассы – получение жидких котельных биотоплив. Пиролиз – это процесс термического разложения органических и некоторых неорганических соединений, который может происходить в различных условиях. В узком смысле пиролиз является разложением органических соединений, таких как древесина и нефтепродукты, при недостатке кислорода. Широко понимаемый пиролиз включает в себя высокотемпературный термолиз органических соединений при низком давлении и малой продолжительности. Этот процесс может происходить при температурах в основном до 750–800 °С и применяется для разложения углеводов [Юрьев, Мальцев, 2023].

В результате этого процесса образуется твердое, жидкое и газообразное топливо. Этот процесс имеет несколько преимуществ по сравнению с традиционными методами переработки древесины, такими как медленное горение или производство древесного угля. Во-первых, более полное использование биомассы путем быстрого пиролиза может дать больше энергии из того же количества древесины. Во-вторых, для такой переработки древесины требуется меньше времени и ресурсов. Кроме того, выход жидких продуктов при быстром пиролизе может достигать 75% от общей массы выходного продукта (табл. 1) [Гелетуха, Железная, 2000].

Таблица 1

**Типичные выходы продуктов (в пересчете на сухую древесину), полученных при различных режимах пиролиза древесины**

**Typical yields of products (on a dry wood basis) obtained under different wood pyrolysis conditions**

Процесс	Условия	Жидкость, %	Уголь, %	Газ, %
Быстрый пиролиз [Гафуров, Хисматуллин, 2016]	Умеренная температура, короткое время пребывания	75	12	13
Медленный пиролиз [Слюсарский и др., 2021]	Низкая температура, очень длительное время пребывания	30	35	35
Газификация [Лямин, 1967]	Высокая температура, длительное время пребывания	5	10	85

Суммарный конденсат обычно темно-коричневого цвета, с характерным запахом. По элементному составу жидкость ближе к биомассе, чем к нефтепродуктам, и представляет собой сложную смесь кислородсодержащих углеводов с высоким содержанием воды [Progress..., 2008]. Она может содержать мелкие частицы твердого полукокса. Физические свойства таких жидкостей зависят от химического состава, который существенно отличается от состава нефти.

Основным компонентом пиролизной жидкости является вода. Кроме того, важно отметить высокое содержание кислорода, которое снижает плотность энергии (менее 50% от плотности обычных мазутов) и препятствует смешиванию с углеводородным топливом. Вода, составляющая 15–35% жидкости, отрицательно влияет на ее теплотворную способность и воспламеняемость, но улучшает текучесть [Elliott, 1994]. Пиролизные жидкости содержат летучие и нелетучие компоненты, такие как углеводы и фенольные соединения, что приводит к широкому диапазону температур кипения. Они начинают кипеть при температуре ниже 100 °С, процесс дистилляции прекращается при температуре 250–280 °С, оставляя значительный остаток [Elliott, 1994].

В зависимости от вида биомассы и процессов пиролиза вязкость пиролизных жидкостей может варьироваться в пределах 70–350 мПа·с и 10–70 мПа·с [Zhang et al., 2006]. Добавляя полярный растворитель, такой как метанол или ацетон, можно еще больше снизить ее [Czernik et al., 1994]. Однако во время хранения вязкость может увеличиться из-за химических реакций между компонентами масла или кислорода в воздухе. Поскольку жидкость содержит органические кислоты (уксусную, муравьиную и др.), она вызывает коррозию, особенно при высоких температурах и высоком содержании воды. Нержавеющая сталь и полиолефины являются наиболее устойчивыми к коррозии материалами для хранения этих жидкостей.

Теплотворная способность масел, исходного жидкого биотоплива и остатка дистилляции примерно одинакова, но масла имеют наибольшую стабильность. Так, на Ветлужском ЛХЗ древесно-смоляные масла сохраняли свои свойства при хранении 5–6 лет [Куликов и др., 2012].

Высшая теплота сгорания получаемых древесно-смоляных продуктов, кДж/кг, приведена в табл. 2 [Куликов и др., 2012].

Таблица 2

**Высшая теплота сгорания получаемых древесно-смоляных продуктов, кДж/кг**  
**Higher heating value of the obtained wood-tar products, kJ/kg**

Продукт	Сосна	Ель	Береза	Осина
Пиролизная жидкость	27164	18730	24056	24994
Древесно-смоляные масла	26030	22254	23549	26084
Древесно-смоляной пек	23925	25646	25679	25436

В состав продуктов пиролиза входят различные химические соединения, включая водород, метан, этан, пропан, бутан, пентан, гексан, ароматические углеводороды и др. Кроме того, в состав продуктов пиролиза могут входить и другие вещества в зависимости от типа исходного сырья и условий проведения процесса. Грачев А.Н. и др. [2008] идентифицировали в

жидких продуктах пиролиза более 50 веществ. Получены данные по процентному химическому составу по массе: органические кислоты – 14,15%; сложные эфиры – 1,85%; спирты – 3,75%; кетоны – 5,2%; альдегиды – 10,3%; фенолы – 7,7%; гваяколы – 8,65%; сининголы – 5,15%; сахара – 9,4%; фураны – 6,3%; алкены – 0,7%; вода – 21% [Грачев и др., 2008].

Пиролиз древесины с добавлением глицерина является специфическим процессом, в результате которого происходит разложение материала на более простые вещества. В работе [Грачев и др., 2008] пеллеты получены с использованием отходов глицерина от биодизельной промышленности первого поколения. Были протестированы различные концентрации глицерина (20% и 40%), конечный продукт был исследован с помощью физико-химических методов анализа, в т.ч. калориметрией. Массовый и энергетический балансы пиролизных испытаний показали, что с увеличением процентного содержания глицерина выходы угля снизились с 28% до 0%, а выход газа увеличился с 34% до 86% по массе. Глицерин также оказывает важное влияние на теплотворную способность пиролизного газа; увеличение его содержания повышает теплотворную способность примерно с 12600 до 16100 кДж/кг. Можно сделать вывод, что пеллеты с глицерином могут быть хорошим топливом для использования на ТЭЦ. В конечном счёте, пиролиз древесины с добавлением глицерина может привести к более чистым и ценным продуктам, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности [Bartocci et al., 2017].

Авторы в работе [Bala-Litwiniak et al., 2023] установили, что добавление отработанного глицерина способствует снижению содержания азота и углерода в топливе, что положительно влияет на снижение выбросов  $N_xO_y$  и  $CO_2$  в выхлопных газах. Добавление 7,5% глицериновых отходов способствует снижению концентрации  $N_xO_y$  до 30 ppm и  $CO_2$  на 0,15%.

Пиролиз древесины с добавлением глицерина является перспективным методом получения топлива и других ценных продуктов. Добавление глицерина, особенно отходов от биодизельной промышленности, оказывает значительное влияние на процесс пиролиза, снижая выход угля, увеличивая выход газа и повышая его теплотворную способность. Это делает продукты пиролиза более эффективными для использования в энергетике, например, на ТЭЦ.

Кроме того, исследования показали, что добавление глицериновых отходов способствует улучшению экологических характеристик топлива. Оно снижает содержание азота и углерода в сырье, что позволяет уменьшить выбросы оксидов азота ( $N_xO_y$ ) и углекислого газа ( $CO_2$ ) в атмосферу. Таким образом, использование пеллет с глицерином позволяет не только повысить энергетическую ценность, но и снизить воздействие на окружающую среду.

Приведенные выше исследования подтверждают, что пиролиз древесины с добавлением глицерина имеет высокий потенциал для промышленного применения, обеспечивая эффективное и экологичное топливо.

*Материалы и методика исследования.* В работе использовались методы, представленные на рис. 1. Основные этапы заключались в подготовке сырья, проведении процесса пиролиза и анализе полученных продуктов. В качестве сырья использовали древесину березы и глицерин с концентрациями 20 и 40%. Для древесины проводили химические анализы следующих типов: определение влажности, содержания количества нелетучего углерода, зольности сырья. Также при анализе сырья определяли количество воды в глицерине. Состав глицерина определяли с помощью инструментальных методов анализа, таких как ГХ/МС. В ходе исследования также были подобраны оптимальные режимные параметры технологического процесса.

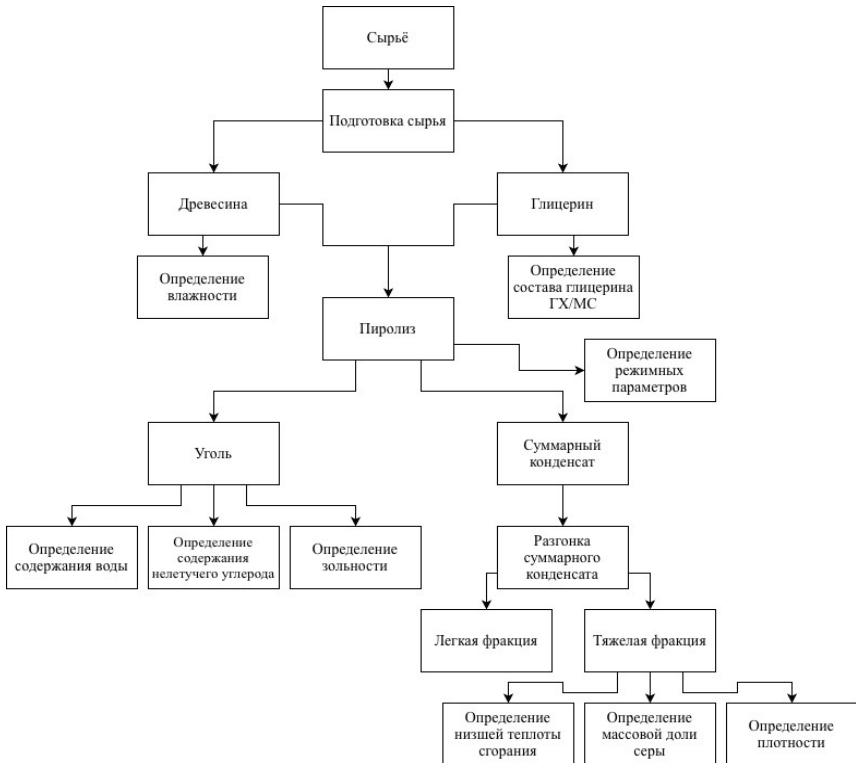


Рис. 1. Схема процесса пиролиза и исследования его продуктов  
 Fig. 1. Diagram of the pyrolysis process and the study of its products

Полученные продукты пиролиза, такие как уголь, суммарный конденсат, состоящий из легкой и тяжелой фракций, подвергали дальнейшему изучению, включая определение теплотворной способности, массовой доли серы и плотности.

Для пиролиза использовалась древесина с влажностью от 7,7 до 10,5%. Влажность древесины определяли по ГОСТ 16483.7–71. Состав глицерина определяли при помощи ГХ/МС.

Исследование химического состава глицерина проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС) в режиме ионизации электронами с энергией 70 эВ на газовом хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus фирмы Shimadzu, оборудованном автоматическим дозатором AOC-5000, капиллярная кварцевая колонка HP-5MS – 30м × 0,25 мм × 0,25 мкм (Part No. 19091S-433) фирмы Agilent Technologies. Аликвоту объемом 100 мкл высушивали досуха в токе азота при 65°C, перерастворяли в 200 мкл ацетонитрила, дериватизировали силилирующим агентом BSTFA (N,O-бис(триметилсилил) трифторацетамид) объемом 200 мкл и проводили анализ. Газохроматографическое разделение: температура испарителя – 250 °C; ввод пробы с делением потока (1:20); температурная программа: начальная температура колонки – 60 °C (5 мин), подъем температуры до 280 °C со скоростью 5 °C/мин, конечная температура колонки – 280 °C, выдержка при конечной температуре – 20 мин; газ-носитель – гелий, расход газа-носителя через колонку – 0,76 мл/мин.

Масс-спектрометрический анализ: энергия ионизирующих электронов – 70 эВ, температура интерфейса – 280 °C температура ионного источника – 250 °C, режим регистрации – сканирование по полному ионному току в диапазоне массовых чисел  $m/z$  40–700. Масс-спектрометрические данные, полученные в результате исследования представленных на анализ образцов, были обработаны с помощью стандартного программного обеспечения GCMS Solution фирмы Shimadzu с использованием библиотечного поиска по масс-спектрометрической базе данных NIST14 для идентификации соединений.

Древесину перед пиролизом разрубали на куски длиной 25 см. Затем её погружали в ёмкость с глицерином для обеспечения равномерной пропитки. Полная пропитка кусков древесины занимала 24 ч. Опилки дополнительно не измельчались, пропитка также занимала 24 ч.

Процесс пиролиза сырья проводился на стендовой установке термogravиметрического анализа периодического действия лаборатории №60 СПбГЛТУ (рис. 2). Подробно процесс пиролиза и применяемое оборудование приведены в работе [Бахтиярова и др., 2019].

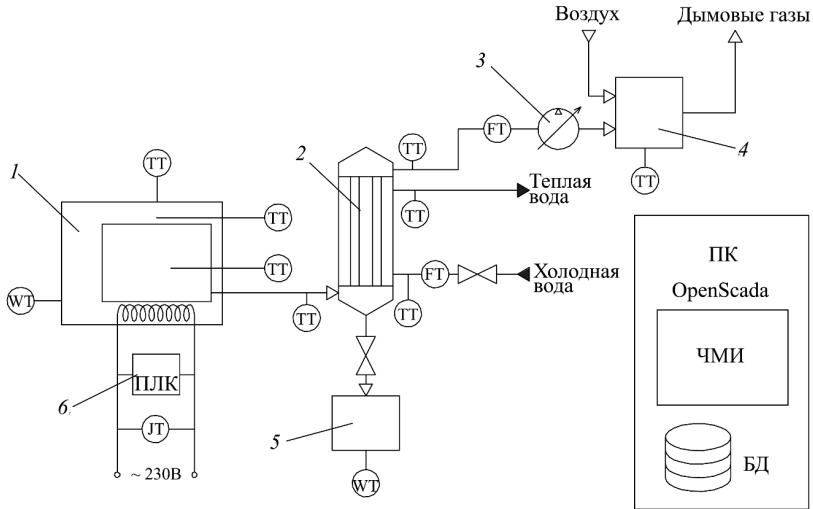


Рис. 2. Технологическая схема стендовой установки термогравиметрического анализа периодического действия.

1 – муфельная печь; 2 – конденсатор-холодильник; 3 – насос; 4 – топочная камера; 5 – приёмная ёмкость; 6 – программируемый термоконтроллер ПЛК; ТТ – измеритель температуры; ИТ – измеритель мощности; WT – датчик веса; FT – измеритель расхода потока

Fig. 2. Process flow diagram of a bench-scale thermogravimetric analysis setup for batch operation.

1 – muffle furnace; 2 – condenser-cooler; 3 – pump; 4 – combustion chamber; 5 – receiving tank; 6 – programmable PLC temperature controller; ТТ – temperature sensor; ИТ – power meter; WT – weight sensor; FT – flow rate meter

Конечная температура пиролиза составляла 700 °С. Скорость нагрева – 2°С/мин. Полученный уголь анализировали по следующим характеристикам: содержание воды (ГОСТ 9516-92), содержание нелетучего углерода (ГОСТ Р 53357–2013), зольность (ГОСТ 11022-95).

Определение массовой доли воды в тяжелой фракции суммарного конденсата выполняли в соответствии с ГОСТ 21119.1-75. Определение массовой доли серы в тяжелой фракции суммарного конденсата выполняли в соответствии с ГОСТ Р 51947. Определение нижней теплоты сгорания выполняли по ГОСТ 21261-2021 на калориметре сжигания с бомбой жидкостных типов В-08, В-09, В-08МА, В-08МБ.

Плотность полученных жидкостей определяли с помощью ареометра по ГОСТ 3900-85.

Полученный после пиролиза суммарный конденсат разделяли на лабораторном ротаторном испарителе. Температура разгонки равна 80 °С. Остаточное давление внутри системы равно 60 мм рт. ст.

*Результаты и их обсуждение.* В табл. 3 представлены результаты обзорного ГХМС анализа глицерина. Относительное содержание идентифицированных соединений определено методом внутренней нормализации. Количественная оценка представленных результатов отображает реальный состав исследуемой пробы только для летучей части образца (табл. 3). На рис. 3 представлена хроматограмма исследуемого образца.

Таблица 3

**Результаты обзорного ГХМС анализа глицерина**

**Results of the comprehensive GC-MS analysis of glycerol**

№	Идентифицированное соединение, триметилсилильное производное	RT, мин	S, отн. ед. пл	Относительное содержание идентифицированных соединений, %
1	Молочная кислота	12,345	893581	0,06
2	Гликолевая кислота	12,834	169191	0,01
3	Карбитол ацетат	16,126	8217282	0,58
4	1,2,3-Бутантриол	16,606	9258107	0,65
5	Глицерин	19,419	1363998261	96,21
6	Фосфорная кислота	19,843	35326809	2,49

Для кусковой древесины, относительное содержание глицерина в подготовленном сырье составило 23 и 33% для первого и второго эксперимента соответственно. Для опилок относительное содержание глицерина в подготовленном сырье составило 30,7% от общей массы.

Всего было проведено семь экспериментов пиролиза, пять – с дровами березы (из них два – с дровами берёзы, пропитанными глицерином), два – с березовыми опилками (один из них с опилками, пропитанными глицерином). Графики, полученные в результате экспериментов, имеют схожий вид. Для примера приведен график, полученный при пиролизе опилок с глицерином (рис. 4). Он показывает, что максимальная температура парогазов (оранжевая линия) составляет 430 °С, ее достижение происходит на отметке времени в 210 мин, затем спустя 120 мин температура резко идёт на спад. Температура в центре реторты (чёрная линия) достигает максимального значения (примерно 510°С) через 420 мин. Масса конденсата (зеленая линия) постепенно возрастает в течение всего опыта.

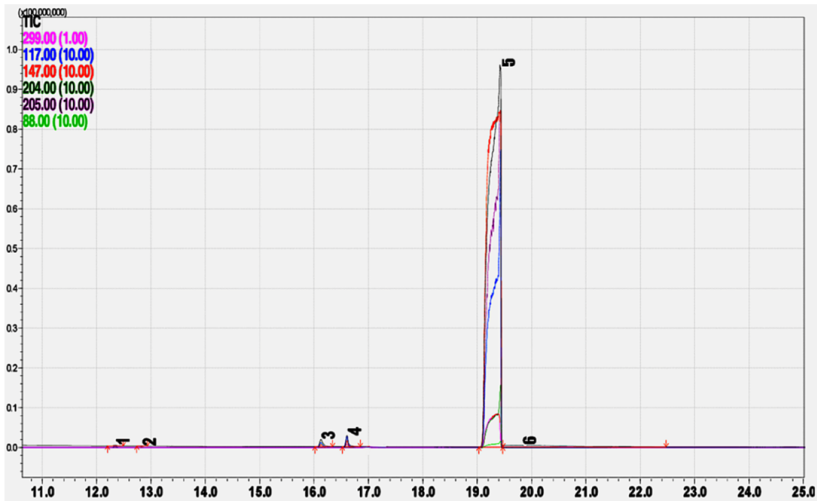


Рис. 3. Хроматограмма глицерина по полному ионному току  
 Fig. 3. Chromatogram of glycerol by total ion current

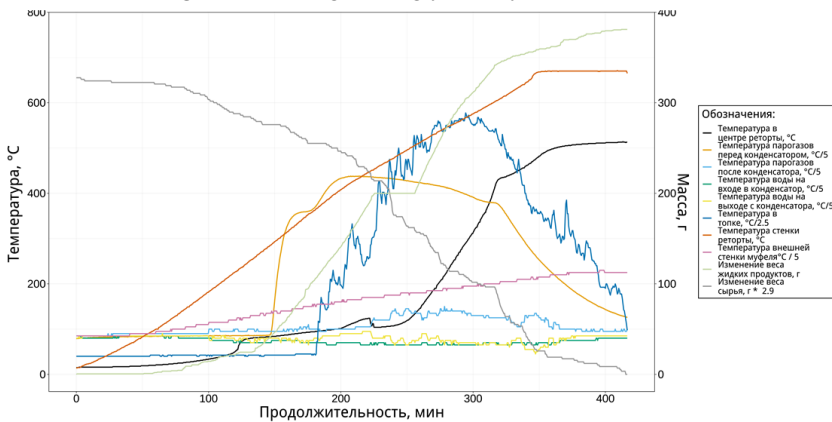


Рис. 4. Температурный профиль пиролиза опилок и глицерина (опыт №1)  
 Fig. 4. Temperature profile of pyrolysis of sawdust and glycerin (experiment no. 1)

В табл. 4 приведены результаты выхода продуктов после пиролиза. Сравнивая выход угля, неконденсируемых газов и жидких продуктов между собой, можно разделить результаты на две группы – с глицерином и без глицерина. Добавление глицерина в процесс пиролиза способствует увеличению массы конденсируемых продуктов, одновременно снижая количество неконденсируемых газов и потерь по сравнению с экспериментами без глицерина.

Таблица 4

**Материальный баланс пиролиза****Material balance of pyrolysis**

Эксперимент	Уголь, г	% от сырья	Конденсат, г	% от сырья	Газы и потери, г	% от сырья
Береза №1	264,6	26,38	288,2	28,7	450,2	44,8
Береза №2	298,6	28,9	456,4	44,1	279	27
Береза №3	242,2	24,3	243,4	24,4	510	51,2
Береза + глицерин №1	232,8	19,15	770,6	63,4	212,2	17,45
Береза + глицерин №2	299,0	30,9	418,6	43,3	250,2	25,8
Опилки №1	295,4	29,0	433,8	42,7	287,2	28,3
Опилки + глицерин №1	342,2	22,5	772,4	50,8	406,4	26,7

В табл. 5 приведены результаты свойств полученного угля. Хорошо видно, что минеральная часть отработанного глицерина задерживается в угле, повышая его зольность.

Таблица 5

**Сводная таблица данных угля****Summary table of coal data**

Эксперимент	Влажность %	Зольность %	Нелетучий углерод %
Берёза №2	0,31 ±0,16	0,99 ±1,25	92,88 ±4,15
Берёза №3	0,43 ±0,08	1,74 ±0,67	95,17 ±0,62
Берёза+глицерин №1	5,16 ±0,17	7,07 ±1,38	86,46 ±1,47
Берёза+глицерин №2	0,18 ±0,18	5,1 ±1,31	91,88 ±0,25
Опилки №1	1,33 ±0,14	0,31 ±0,06	91,22 ±1,89
Опилки+глицерин №1	2 ±0,37	8,08 ±0,36	88,41 ±1,09

В табл. 6 приведены результаты разделения суммарного конденсата на легкую и тяжелую фракции. В экспериментах без добавления глицерина средний процент легкой фракции составляет 76,8%, с глицерином – 59%. Средний процент тяжелой фракции составляет 21,1% и 35,1% соответственно.

Добавление глицерина увеличивает долю тяжелой фракции конденсата от 10 до 15% от общего количества веществ, снижая при этом количество потерь, т.е. увеличивается доля легколетучих компонентов, не конденсирующихся при условии конденсации в ротационном испарителе.

Таблица 6

**Суммарный конденсат пиролиза**  
**Total condensate of pyrolysis**

Эксперимент	Легкая фракция	%	Тяжелая фракция	%	Потери	%
Берёза №2	335,2	73,4	106,4	23,3	14,8	3,3
Берёза+глицерин №1	413	53,6	308,2	40	49,4	6,4
Опилки №1	345,6	80,3	81,6	18,9	3,4	0,8
Опилки+глицерин №1	491	64,5	229,2	30,2	40,6	5,3

В табл. 7 указаны физические свойства полученной тяжелой фракции. По сравнению с пиролизными жидкостями она имеет гораздо большую теплоту сгорания, приближающуюся к мазуту, и содержит меньше серы (0,02% против 0,5%). Эти характеристики дают представление о составе и энергетических свойствах тяжелой фракции конденсата.

Таблица 7

**Характеристики тяжелой фракции**  
**Characteristics of the heavy fraction**

№	Наименование показателей, ед. изм.	Метод испытаний	Результат
1	Массовая доля серы в тяжелой фракции, %	ASTM D 4294-21	0,020
2	Массовая доля вод в тяжелой фракции, %	ГОСТ 2477-2014	2,5
3	Теплота сгорания (низшая) в пересчёте на сухое топливо, кДж/кг	ГОСТ 21261-2021	39920
4	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 18995.1-73	926

Сравнивая характеристики данного вида топлива с остальными (табл. 8) [Удельная..., 2024], можно заметить, что полученное топливо имеет более высокую низшую теплоту сгорания чем мазут, торф, каменный уголь, дрова, при этом массовая доля серы в нем меньше

Таблица 8

**Характеристики сравниваемых видов топлива**  
**Characteristics of the compared fuel types**

Параметр	Полученное топливо	Мазут	Торф	Каменный уголь	Дизельное топливо	Дрова (березовые, воздушной сушки)
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	39920	39200	8000–15000	22000–29000	42700	10200
Массовая доля серы, %	0,02	0,5–3,5	0,04–0,5	0,1–1	0,2–0,035	0,05

На основе проведённых экспериментов и анализов можно сделать несколько выводов:

1. Добавление глицерина в процесс пиролиза способствует увеличению массы конденсирующихся продуктов, одновременно снижая количество неконденсируемых газов и потерь по сравнению с экспериментами без глицерина;

2. Включение глицерина приводит к увеличению доли тяжёлой фракции конденсата с 10 до 15% от общего количества веществ, что указывает на изменение химического состава продуктов пиролиза;

3. Тяжёлая фракция конденсата обладает высокой теплотой сгорания (39920 кДж/кг) и низким содержанием серы (0,02%), что делает её перспективным видом топлива, особенно в сравнении с другими видами топлива, такими как мазут, торф, каменный уголь и дрова.

*Заключение.* Добавление глицерина способствует повышению эффективности процесса пиролиза, увеличивая выход конденсируемых продуктов и уменьшая количество неконденсируемых газов и потерь. Полученные в результате пиролиза жидкие продукты обладают высокими показателями теплоты сгорания, что делает их конкурентоспособными по сравнению с традиционным топливом. Биотопливо из биомассы может использоваться в различных сферах, включая отопление, генерацию электричества. В данный момент тяжёлая фракция пиролизной жидкости с добавлением глицерина является перспективным аналогом мазута с уменьшенным содержанием серы. Пиролиз древесины с глицерином – эффективный способ утилизации технического глицерина, получаемого от производства автомобильных присадок.

Таким образом, пиролиз древесины с использованием глицерина является перспективным направлением для повышения эффективности переработки растительной биомассы и создания экологически чистого топлива. Также целесообразно использование результатов пиролиза в качестве печного топлива.

*Вклад авторов.* Акулов М. – концепция исследования, эксперименты, подготовил текст введения, методологии, раздела результатов с обсуждением и заключения; Спицын А.А. – научное руководство работой, формулировка введения, методологической части, интерпретация результатов и выводов; Жуков В.А. – анализ физико-химических свойств угля; Молчанова Н.А. – химический анализ состава угля.

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

### Библиографический список

Бахтиярова А.В., Белоусов И.И., Кинд А.В., Романенко К.А., Спицын А.А. Пиролиз и активация уплотненного целлюлозного // Химическая технология. 2019. Т. 20, №3. С. 98–103.

Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Особенности технологии быстрого пиролиза биомассы // Инновационная наука. 2016. №5-2. С. 65–66.

Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Ч. 1 // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2000. №2. С. 3–10.

Грачев А.Н., Хисматов Р.Г., Сафин Р.Г., Баширов В.Н. Исследование быстрого пиролиза древесины в абляциянном режиме //Известия Самарского научного центра РАН. 2008. Спец. вып. С. 25–29.

Куликов К.В., Литвинов В.В., Пиялкин В.Н., Забелкин С.А., Баширов В.Н. Получение и исследование жидких биотоплив из биомассы дерева методом пиролиза // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, №13. С. 197-200

Лямин В.А. Газификация древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 262 с.

Слюсарский К.В., Ларионов К.Б., Ивашкина Е.Н., Заворин А.С., Губин В.Е. Технологические решения по утилизации жидких продуктов медленного пиролиза древесной биомассы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, №12. С. 173-188.

*политическ*Удельная теплота сгорания топлива // Эстив. URL: [https://estiw.ru/info/measure/fizika/udel\\_top](https://estiw.ru/info/measure/fizika/udel_top) (дата обращения: 15.12.2024).

Юрьев Ю.Л., Мальцев Г.И. Основы производства углеродных материалов из березовой древесины: учеб. пособие. М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 176 с.

Bala-Litwiniak A., Musial D., Nabialczyk M. Computational and experimental studies on combustion and co-combustion of wood pellets with waste glycerol // Materials. 2023. Vol. 16. Art. no. 7156. DOI: 10.3390/ma16227156.

Bartocci P., Bidini G., Asdrubali A., Beatrice C., Frusteri F., Fantozzi F. Batch pyrolysis of pellet made of biomass and crude glycerol: mass and energy balances // Renewable Energy. 2017. Vol. 124. P. 172–179. DOI: 10.1016/j.renene.2017.06.049.

Czernik S., Johnson D.K., Black S. Stability of wood fast pyrolysis oil // Biomass and Bioenergy. 1994. Vol. 7, iss. 1-6. P. 187–192. DOI: 10.1016/0961-9534(94)00058-2.

Elliott D.C. Water, alkali and char in flash pyrolysis oils // Biomass and Bioenergy. 1994. Vol. 7, iss. 1-6. P. 179–185. DOI: 10.1016/0961-9534(94)00057-Z.

Hall J.P. Sustainable production of forest biomass for energy // The Forestry Chronicle. 2002. Vol. 78, no. 3. P. 391–396. DOI: 10.5558/tfc78391-3.

Nigam P.S., Singh A. Production of liquid biofuels from renewable resources // Progress in Energy and Combustion Science. 2010. Vol. 37. P. 52–68. DOI: 10.1016/j.pecs.2010.01.003.

Progress in thermochemical biomass conversion / ed. A.V. Bridgwater. Wiley-Blackwell, 2008. 1744 p.

Ullah K., Sharma V.K., Dhingra S., Braccio G., Ahmad M., Sofia S. Assessing the lignocellulosic biomass resources potential in developing countries: a critical review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 51. P. 682–698. DOI: 10.1016/j.rser.2015.06.044.

Zhang Q., Chang J., Wang T., Xu Y. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research // *Energy conversion and management*. 2006. Vol. 48, iss. 1. P. 87–92. DOI: 10.1016/j.enconman.2006.05.010.

### References

Bakhtiyarova A.V., Belousov V.I., Kind A.V., Romanenko K.A., Spitsyn A.A. Pyrolysis and activation of compacted cellolignin. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 98–103. (In Russ.)

Bala-Litwiniak A., Musiał D., Nabiałczyk M. Computational and experimental studies on combustion and co-combustion of wood pellets with waste glycerol. *Materials*, 2023, vol. 16, art. no. 7156. DOI: 10.3390/ma16227156.

Bartocci P., Bidini G., Asdrubali A., Beatrice C., Frusteri F., Fantozzi F. Batch pyrolysis of pellet made of biomass and crude glycerol: mass and energy balances. *Renewable Energy*, 2017, vol. 124, pp. 172–179. DOI: 10.1016/j.renene.2017.06.049.

Czernik S., Johnson D.K., Black S. Stability of wood fast pyrolysis oil. *Biomass and Bioenergy*, 1994, vol. 7, iss. 1-6, pp. 187–192. DOI: 10.1016/0961-9534(94)00058-2.

Elliott D.C. Water, alkali and char in flash pyrolysis oils. *Biomass and Bioenergy*, 1994, vol. 7, iss. 1-6, pp. 179–185. DOI: 10.1016/0961-9534(94)00057-Z.

Gafurov N.M., Khismatullin R.F. Features of fast pyrolysis technology for biomass. *Innovatsionnaya Nauka*, 2016, no. 5-2, pp. 65–66. (In Russ.)

Geletukha G.G., Zheleznaya T.A. Review of modern technologies for liquid fuel production from biomass via fast pyrolysis. P. 1. *Ekotekhnologii i Resursosberezhenie*, 2000, no. 2, pp. 3–10. (In Russ.)

Grachev A.N., Khismatov R.G., Safin R.G., Bashkirov V.N. Study of fast wood pyrolysis in the ablation mode. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2008, spec. iss., pp. 25–29. (In Russ.)

Hall J.P. Sustainable production of forest biomass for energy. *The Forestry Chronicle*. 2002, vol. 78, no. 3, pp. 391-396. DOI: 10.5558/tfc78391-3.

Kulikov K.V., Litvinov V.V., Piyalkin V.N., Zabelkin S.A., Bashkirov V.N. Production and study of liquid biofuels from wood biomass by pyrolysis method. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, vol. 15, no. 13, pp. 197–200. (In Russ.)

Lyamin V.A. Wood gasification. Moscow: Lesn. prom-st, 1967. 262 p. (In Russ.)

Nigam P.S., Singh A. Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2010, vol. 37, pp. 52-68. DOI: 10.1016/j.pecs.2010.01.003.

Progress in thermochemical biomass conversion / ed. A.V. Bridgwater. Wiley-Blackwell, 2008. 1744 p.

Shuvalov Yu.V., Nifontov Yu.A. On the processing of wood waste in the Northwestern region. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, 2002, no. 12, pp. 36–39. (In Russ.)

Slyusarskiy K.V., Larionov K.B., Ivashkina E.N., Zavorin A.S., Gubin V.E. Technological solutions for the utilization of liquid slow pyrolysis products of woody biomass. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021, vol. 332, no. 12, pp. 173–188. (In Russ.)

Specific heat of combustion of fuel. *Estiw*. URL: [https://estiw.ru/info/measure/fizika/udel\\_top](https://estiw.ru/info/measure/fizika/udel_top) (accessed December 15, 2024). (In Russ.)

Ullah K., Sharma V.K., Dhingra S., Braccio G., Ahmad M., Sofia S. Assessing the lignocellulosic biomass resources potential in developing countries: a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 51, pp. 682–698. DOI: 10.1016/j.rser.2015.06.044.

Yuryev Yu.L., Maltsev G.I. Fundamentals of carbon materials production from birch wood: textbook. Moscow; Vologra: Infra-Inzheneriya, 2023. 176 p. (In Russ.)

Zhang Q., Chang J., Wang T., Xu Y. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy conversion and management*, 2006, vol. 48, iss. 1, pp. 87–92. DOI: 10.1016/j.enconman.2006.05.010.

*Материал поступил в редакцию 19.04.2025*

---

**Акулов М., Спицын А.А., Жуков В.А., Молчанова Н.А.** Совместный пиролиз биомассы с техническим глицерином // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 427–443 DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.427-443

Лесопромышленный комплекс России играет ключевую роль в экономике, однако эффективная утилизация древесных отходов остаётся актуальной задачей. Биомасса, включая отходы лесного хозяйства, является важным возобновляемым ресурсом для получения жидкого, газообразного и твёрдого топлива. Однако традиционное биотопливо имеет недостатки: высокую вязкость, коррозионную активность и низкую стабильность. В работе исследуется совместный пиролиз древесины с техническим глицерином для повышения эффективности процесса и улучшения свойств получаемого топлива. Эксперименты проводили на стендовой установке термогравиметрического анализа. В качестве сырья использовали берёзовую древесину и опилки, пропитанные глицерином (20–40%). Процесс пиролиза осуществляли при температуре до 700°C. Полученные продукты (уголь, конденсат, газ) анализировали на теплотворную способность, содержание серы, влажность и зольность. Химический состав глицерина и продуктов пиролиза изучали методами газовой хроматографии и масс-спектрометрии (ГХ/МС). Добавление глицерина увеличило выход конденсируемых продуктов до 63,4% (против 28,7%

без глицерина) и снизило долю газов и потерь до 17,45% (против 44,8%). Тяжёлая фракция конденсата показала высокую теплоту сгорания (39 920 кДж/кг) и низкое содержание серы (0,02%), что превосходит показатели мазута, угля и дров. Совместный пиролиз биомассы с глицерином является перспективным методом для получения высокоэнергетического и экологически чистого топлива. Результаты работы демонстрируют возможность промышленного применения технологии, включая использование на ТЭЦ и в системах отопления. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию параметров процесса и масштабирование установок.

**Ключевые слова:** совместный пиролиз, биомасса, технический глицерин, возобновляемая энергия, биотопливо, теплотворная способность, утилизация отходов.

**Akulov M., Spitsyn A.A., Zhukov V.A., Molchanova N.A.** Co-pyrolysis of biomass with technical glycerin. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 427–443 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.427-443

The forest industry complex in Russia plays a key role in the economy, but the efficient utilization of wood waste remains a pressing issue. Biomass, including forestry waste, is an important renewable resource for producing liquid, gaseous, and solid fuels. However, traditional biofuels have drawbacks, such as high viscosity, corrosive activity, and low stability. This study investigates the co-pyrolysis of wood with technical glycerin to enhance the process efficiency and improve the properties of the resulting fuel. Experiments were conducted using a bench-scale thermogravimetric analysis setup. The raw materials used were birch wood and sawdust impregnated with glycerin (20–40%). The pyrolysis process was carried out at temperatures up to 700°C. The resulting products (char, condensate, and gas) were analyzed for calorific value, sulfur content, moisture, and ash content. The chemical composition of glycerin and pyrolysis products was studied using gas chromatography and mass spectrometry (GC/MS). The addition of glycerin increased the yield of condensable products to 63.4% (compared to 28.7% without glycerin) and reduced the share of gases and losses to 17.45% (compared to 44.8%). The heavy fraction of the condensate demonstrated a high combustion heat (39,920 kJ/kg) and low sulfur content (0.02%), outperforming fuel oil, coal, and firewood. Co-pyrolysis of biomass with glycerin is a promising method for producing high-energy and environmentally friendly fuel. The results demonstrate the potential for industrial application of this technology, including use in thermal power plants and heating systems. Further research may focus on optimizing process parameters and scaling up the facilities.

**Keywords:** co-pyrolysis, biomass, technical glycerin, renewable energy, biofuel, calorific value (or heating value), waste utilization (or waste recycling).

**АКУЛОВ Михаил** – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: misha.akulov.11@mail.ru

**AKULOV Mikhail** – PHD student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: misha.akulov.11@mail.ru

**СПИЦЫН Андрей Александрович** – доцент кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия.

**SPITSYN Andrey A.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Technology of Forest Chemical Products, Wood Chemistry and Biotechnology, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia.

**ЖУКОВ Вадим Андреевич** – магистрант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: vadim.zhukov.01@bk.ru

**ZHUKOV Vadim A.** – master’s student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: vadim.zhukov.01@bk.ru

**МОЛЧАНОВА Натали Александровна** – магистрант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: 89817074205@mail.ru

**MOLCHANOVA Natalie A.** – master’s student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: 89817074205@mail.ru

Р.Г. Сафин, К.В. Валеев, Т.О. Степанова

## ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ПЕКТИНА И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ НЕДРЕВЕСНЫХ ЧАСТЕЙ ХВОЙНЫХ ПОРОД

*Введение.* Большая часть территории Республики Татарстан входит в лесную зону, так как север Предкамья заходит в зону тайги. Площадь лесов республики составляет около 17% ее территории. В составе лесов преобладают лиственные породы (дуб, липа, береза и осина), хвойные породы представлены в основном сосной и елью [Географическое..., 2024]. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан в 2024 г. общая площадь лесов региона составила 1266,2 тыс. га, из них хвойные леса – 277,44 тыс. га (сосновые – 197,68 тыс. га, еловые – 74,64 тыс. га, лиственничные – 5,12 тыс. га)<sup>1</sup>. Ель (*Picea*) и сосна (*Pinus*) широко используются в регионе, так как хвойные породы являются универсальными. Они часто применяются в строительстве, изготовлении мебели, окон, дверей. Преимуществами ели и сосны как материала являются их доступность и низкая стоимость [Каменев, 2015]. На деревообрабатывающих предприятиях и лесосеках образуется большое количество отходов (недревесной части), которые не перерабатываются, а сбрасываются в отвалы [Безруких и др., 2014]. Недревесная часть, состоящая из коры, веток, хвои, содержит комплекс веществ с высокой биологической активностью [Зиатдинова и др., 2024]. Одним из перспективных направлений утилизации и комплексной переработки недревесных частей ели, сосны и лиственницы является извлечение ценных компонентов для широкого применения их в фармацевтической и пищевой отраслях промышленности в качестве биологических добавок [Кулькова и др., 2018].

Одним из наиболее важных компонентов, содержащихся в хвойных породах деревьев, является пектин. Он не является одним веществом: это целая группа сложных гетерополисахаридов (гомогалактуронан, рамногалактуронан-I, рамногалактуронан-II), основной компонент которых – га-

---

<sup>1</sup> Об утверждении Стратегии развития лесного хозяйства Республики Татарстан на 2024-2026 и на период до 2030 года. Приказ Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан от 25 марта 2024 года №88-осн.

лактуроновая кислота. Они являются структурным элементом клеточных стенок растений и среднего слоя (ламели) между клетками. Пектин обладает рядом полезных свойств: антиоксидантным (защищает клетки от окислительного стресса, способствует омоложению и укреплению иммунитета); детоксикантным (связывает и выводит токсины, тяжелые металлы и радионуклиды из организма); пробиотическим (поддерживает рост полезной микрофлоры кишечника); противовоспалительным (снижает воспалительные процессы в организме) [Аймухомедова, Шелухина, 1964].

Содержание пектина в хвое, коре и древесине хвойных деревьев может варьироваться в зависимости от возраста растения, времени сбора и условий окружающей среды. Хвоя ели содержит от 3 до 5% пектина, кора – от 3 до 12% от сухой массы сырья; хвоя сосны – от 2 до 4%, кора – от 2 до 6% от сухой массы сырья; хвоя лиственницы – до 6%, кора – от 4 до 8% от сухой массы сырья [Нуштаева, 2013].

Помимо пектина, в недревесной части хвойных деревьев содержатся побочные продукты в виде хвойного воска (до 7,1%) и антоцианидинового красителя (до 14%) [Оболенская и др., 1991]. Хвойный воск является перспективным компонентом для косметической промышленности, обладающим антисептическими, противовоспалительными и увлажняющими свойствами. Его применение в составе декоративной и уходовой косметики делает продукты более натуральными, эффективными и безопасными для кожи [Дейнеко и др., 2005]. Антоцианидиновый краситель – это важный элемент натурального и полезного питания. Его широко применяют в пищевой промышленности, особенно в производстве напитков, кондитерских и молочных продуктов, благодаря его натуральности, яркому цвету и антиоксидантной активности. Он также нашел применение в текстильной промышленности для окрашивания детского белья и при изготовлении игрушек [Сарафанова, 2005].

По существующим данным, на сегодняшний день потребность в биологически активных веществах на пищевом и косметическом рынках увеличилась. Спрос на использование данных БАВ из недревесных частей деревьев хвойных пород в России возрастает в среднем на 20–25% [Эксперт..., 2023]. Этим обуславливается высокая цена на некоторые вещества. Так, например, цена 1 кг пектина составляет 30 \$, 1 кг хвойного воска – 10 \$, 1 кг антоцианидинового красителя – 50 \$ [Антоцианидиновый..., 2024].

В связи с большим количеством ценных веществ в недревесной части деревьев хвойных пород и широким спектром их применения извлечение этих биологически активных веществ является перспективным направле-

нием лесоперерабатывающей промышленности. Извлечение биологически активных веществ сопровождается рядом трудностей, связанных с сепарацией на отдельные компоненты, регенерацией растворителей [Шелухина и др., 1987], которые довольно токсичны. Целью работы является обзор научных исследований в области извлечения пектина и побочных продуктов из недревесных частей деревьев хвойных пород.

*Результаты исследования.* Левданский В.А. с соавторами [2008] предложили способ переработки коры ели, позволяющий эффективно извлекать из неё биологически активные вещества (рис. 1). Способ включает в себя измельчение коры ели до размеров 1–3 мм, экстракцию хвойного воска гексаном в аппарате Сокслета в течение 6 ч, сепарацию на рафинат и экстракт, выделение из рафинированной коры антоцианидинового красителя этиловым спиртом с 4%-й соляной кислотой при температуре 78 °С в течение 3,5 ч, извлечение пектинов 0,5%-м водным раствором щавелево-кислого аммония из твердого остатка коры ели при температуре 100 °С и гидромодуле 1:30. Выход биологически активных веществ составил: для хвойного воска – 6–7%, антоцианидинового красителя – 13–14%, пектина – 10–12% от общей массы сырья.

В работе Ушановой В.М. с соавторами [2008] описано исследование влияния функциональных пектиновых групп из коры хвойных пород деревьев на их студнеобразующие свойства. Объектами исследования служили пектины, извлеченные из деревьев: ели, сосны, пихты, лиственницы. В работы были определены физико-химические свойства извлеченных пектинов и проведено сравнение с промышленными образцами цитрусового пектина. Исследования показали, что хвойные пектины относятся к низкоэтерифицированным (степень этерификации – от 46 до 48%), а у цитрусовых степень этерификации составляет 66–70%. Так как хвойные пектины имеют низкую степень этерификации, они нашли широкое применение в медицине, фармакологии и кондитерской промышленности.

Способ переработки древесной зелени сосны обыкновенной с получением пектиновых веществ, предложенный Речкиной Е.А. [2012], включает в себя измельчение хвои, экстрагирование гексаном, сепарирование на твердый остаток и экстракт, содержащий эфирные масла, хлорофиллокаротиновую пасту и хвойной воск. Далее твердый остаток экстрагируется этиловым спиртом для выделения хвойного экстракта. Для выделения пектина из последнего твердого остатка проводят экстракцию смесью оксалата аммония и щавелевой кислоты при температуре 81 °С в течение 60 минут. Выход пектиновых веществ из хвои сосны составил 4,6%.

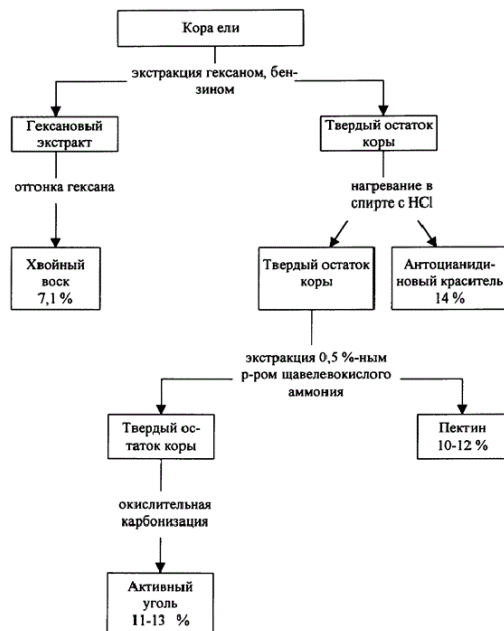


Рис. 1. Схема способа переработки коры ели по методу [Левданский и др., 2008]

Fig. 1. Scheme of the method of processing spruce bark according to the Levdanskiy et al. [2008] method

В другой работе того же автора было проведено выделение пектиновых веществ из древесной зелени сосны обыкновенной. Исследование заключалось в определении оптимальных режимных параметров процесса экстракции. В ходе работы было выявлено, что для достижения максимального выхода пектиновых веществ рекомендуются следующие условия: температура процесса – 80 °С, время – 1 ч, гидромодуль сырье : экстрагент – 1:7 [Речкина и др., 2010].

Ивановой Н.В. с соавторами [2003] проведено исследование влияния различных факторов на выход и некоторые характеристики пектиновых веществ коры лиственницы. Было выявлено, что предварительная обработка гексаном, этилацетатом и водой, а также использование эквимольной смеси 0,5%-х растворов щавелевой кислоты и оксалата аммония при 80 °С в течение 1 ч (гидромодуль – 1:7) существенно увеличивает выход пектинов, улучшая их функциональные характеристики. Также было проведено исследование выбора осадителя (ацетон, этанол) для осаждения пектиновых

веществ. Исследования показали, что с использованием ацетона осаждение пектиновых веществ происходит лучше на 1,7%.

Также Речкина Е.А. с соавторами [2009] предложила способ переработки древесной зелени сосны обыкновенной (рис. 2). Данный способ представляет собой многостадийный процесс выделения ценных компонентов из древесной зелени сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), включающий использование различных растворителей, химическую обработку и механическое разделение фаз для получения ряда биологически активных веществ. Для выделения эфирного масла и хлорофилло-каротиновой пасты в качестве растворителя использовался бензин. Для осаждения хлорофилло-каротиновой пасты авторы использовали 40%-ю натриевую щелочь. Твердый остаток ( $R_1$ ) после первой стадии экстракции подвергается обработке 90%-м раствором этилового спирта при температуре кипения (около 78,5 °С) в течение 4 ч. После экстракции проведена сепарация на экстракт (E) и шрот ( $R_2$ ). Прозекстрагированный шрот подвергается гидролиз-экстракции эквимольной смесью 0,5%-го раствора оксалата аммония и 0,5%-й щавелевой кислоты (жидкостный модуль – 1:7), при температуре 80 °С в течение 30 мин при постоянном перемешивании. После экстракции проводилась сепарация на экстракт и рафинированное сырье ( $R_3$ ). Для осаждения пектиновых веществ использовался этиловый спирт в трехкратном объеме. Выход пектина составил 1,7–2,6%.

Пермяковой Г.В. и Анискиной А.А. [2024] было проведено исследование динамики содержания пектиновых веществ в коре *Larix sibirica* Ledeb. и *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. Авторами было обнаружено, что на высоте 1,3 м от основания содержание пектина в коре лиственниц обоих видов составило 4–5% от общей массы сырья. В коре всего ствола дерева содержание пектиновых веществ составило 8–9% от общей массы сырья. Обнаружено, что максимальное содержание пектиновых веществ находится в коре молодых частей дерева (вершине и сучьях) и в лубе – 9–12% от общей массы сырья. Также установлено, что с возрастом количество пектиновых веществ в коре и лубе лиственницы сокращается примерно в 2,5 раза.

Птичкиной Н.М. с соавторами [1996] был предложен способ получения пектина из тыквенного жом (рис. 3). Жом тыквы промывали дистиллированной водой при температуре 65 °С в течение 30 мин. После промывки жом отжимали и подвергали гидролиз-экстракции соляной кислотой при температуре 65 °С в течение 90 мин. Далее проводили сепарацию на жом и гидролизат. Жом (R) подвергали ещё одной гидролиз-экстракции соляной кислотой при температуре 65 °С в течение 30 мин. После экстракции проводили ещё одну сепарацию. Далее жидкости соединяли, охлаждали и осаждали пектин. Выход пектина составил 7,3% от общей массы жома.

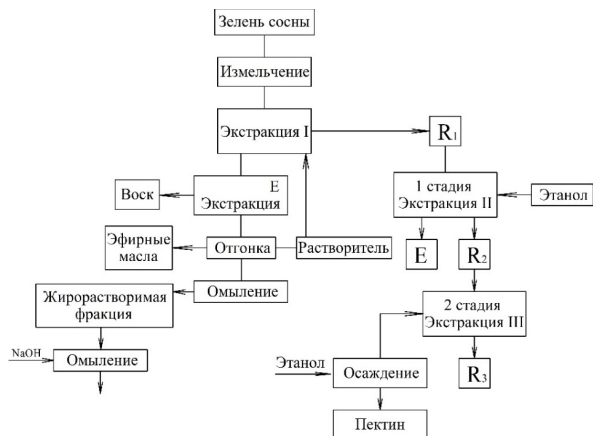


Рис. 2. Схема способа переработки древесной зелени сосны обыкновенной по методу [Речкина и др., 2009]

Fig. 2. Scheme of the method of processing wood greens of common pine according to the method of Rechkina et al. [2009]

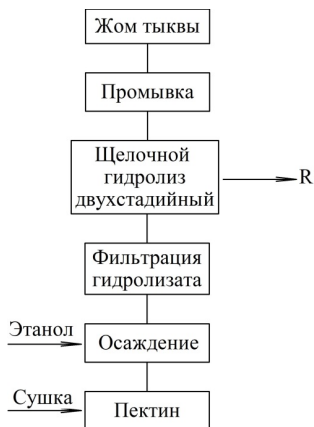


Рис. 3. Схема способа получения пектина из тыквенного жома по методу [Птичкина и др., 1996]

Fig. 3. Scheme of the method of obtaining pectin from pumpkin pulp according to the method of Ptichkina et al. [1996]

Бабкиным В.А. с соавторами [2010] предложен способ получения пектина из коры лиственницы. Измельчённую кору экстрагировали этилацетатом (гидромодуль – 1:5–1:10) в колбе с обратным холодильником в течение

ние 3 ч при температуре 60–70 °С. После экстракции проводили сепарацию на твердый остаток и экстракт. Далее твердый остаток выдерживали в воде при температуре 45–52 °С в течение 3 ч для удаления фенольных соединений, низкомолекулярных углеводов и танинов. После обработки кору высушивали и выдерживали в водном растворе щавелевой кислоты (рН 3,8–4,2) в течение 3–4 ч. Экстракцию пектиновых полисахаридов осуществляли водным раствором оксалата аммония, экстракт концентрировали, пектины осаждали 96%-м этиловым спиртом, сушку целевого продукта вели лиофильно. Выход пектиновых веществ составил 10–12%.

В работе Ефремовой А.А. и Кондратюка Т.А. [2008] описано выделение пектина из лиственницы сибирской. Кора лиственницы подвергалась воздействию 1,1%-й соляной кислоты при температуре 60–70 °С в течение 1–2 ч. После экстракции жидкость отделяли от твердого остатка (коры), получая солянокислый экстракт. Его упаривали до 1/3 исходного объема, что позволяло повысить концентрацию пектиновых веществ. Для их осаждения добавляли этиловый спирт, который снижает растворимость пектина и способствует его выпадению в осадок. Осажденные пектиновые вещества отделяли от раствора, затем высушивали в вакуумной сушилке. Полученный выход пектиновых веществ составил 4–5% от массы абсолютно сухой коры.

Бутылкина А.И. с соавторами [2011] провела исследование состава экстрактивных веществ, выделенных из коры сосны различными методами. Измельченную до размеров 1,2–2,0 мм кору высушивали в течение 6 ч при температуре 104–105 °С. Для выделения смолистых веществ в качестве экстрагента использовали гексан. Экстракцию проводили в течение 10 ч в аппарате Сокслета. Выход смолистых веществ составил 4,8% от а. с. к. Экстракцию дубильных веществ из обессмоленной коры сосны также проводили в аппарате Сокслета в течение 8 ч. Выход составил 10% от а. с. к. Обессмоленную кору подвергали экстракции 15%-м раствором этанола при гидромодуле – 1:10–15 в течение 1 ч. Выход проантоцианидинов составил 0,5% от а. с. к. Для выделения пектиновых веществ кору сосны обрабатывали водными растворами кислот (азотной, соляной, ортофосфорной, серной, лимонной) с рН от 1,1 до 2,2 при температуре 80 °С и гидромодуле 1:20 при постоянном перемешивании в течение 1 ч. Выход пектиновых веществ составил 5,2% от а. с. к.

В работе [Дейнеко и др., 2007] описано исследование химического состава коры сосны. В качестве образцов для исследования использовали кору и луб сосны двух 60-летних деревьев. Экстрагирование образцов проводили в аппарате Сокслета диэтиловым эфиром. После экстракции проводили сепарацию на твердый остаток и экстракт, содержащий в себе

кислоты и нейтральные вещества. Для выделения кислот экстракт обрабатывали насыщенным раствором гидрокарбоната натрия. Для осаждения смоляных и жирных кислот в экстракте использовали 10%-й хлорид бария. Для выделения фенолов раствор обрабатывали 15%-й соляной кислотой и экстрагировали диэтиловым эфиром. Полученные вещества и растворы отправляли на газожидкостную хроматографию (ГЖХ). Авторами было установлено, что кора и луб нижней части ствола содержат наибольшее количество эфирорастворимых веществ (лепидов). Также их содержание в нижней части ствола значительно больше, чем в верхней. Содержание пектиновых веществ – 4,8% от общей массы коры.

Хуршкайнен Т.В. с соавторами [2013] предложили способ переработки древесной зелени пихты (рис. 4). Измельченную хвою пихты массой 1 кг загружали в реактор и добавляли 0,5%-й водный раствор соляной кислоты массой 10 кг, предварительно нагретый до 50 °С. Сырье обрабатывалось в течение 2 ч. Затем хвою отфильтровывали и промывали дистиллированной водой в соотношении сырье:вода 1:5 при температуре 50–55 °С. Подкисленный раствор отфильтровывали от сырья и объединяли с первым экстрактом. Смесь упаривали до 2,4 л и осаждали 96%-м этиловым спиртом. Выход пектина составил 2,6–5,6% от веса исходного материала.

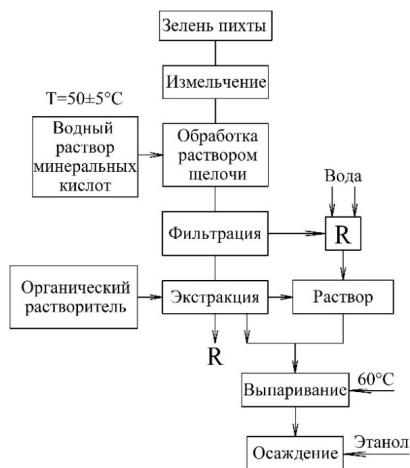


Рис. 4. Схема способа переработки древесной зелени пихты по методу [Хуршкайнен и др., 2013]

Fig. 4. Scheme of the method of processing fir tree greens according to the Hurshkainen et al. [2013] method

Ярцевой Н.А. и Пермяковой Г.А. [1977] предложен способ получения пектина из растительного сырья. Измельчённую в дисковой дробилке до размеров 1–2 мм кору сосны трижды промывали водой при температуре 60 °С по 30 мин, удаляя водорастворимые вещества. После промывки сырьё экстрагировали 1%-м водным раствором щавелекислого аммония в течение 1 ч при температуре кипения и гидромодуле 1:30 в колбе с обратным холодильником. После экстракции проводили сепарацию на твердый остаток (кору) (R) и коричневый экстракт. Экстракт упаривали до 1/10 части всего объема, осветляли активированным углем марки Б. Для осаждения пектина из прозрачного экстракта использовали 96%-й подкисленный этиловый спирт в соотношении 1:2,5. Осадок высушивали и промывали трижды подкисленным раствором этилового спирта.

Рошин В.И. с соавторами [1994] предложил способ переработки сосновой древесной зелени. Исследование проводили в аппарате дефлегмационно-оросительного принципа в течение 3,5 ч с использованием в качестве экстрагента бензина. Выход смолистых веществ составил 13,8% от общей массы абсолютно сухой хвои сосны. При охлаждении экстракта хвойный воск выпадал в осадок (до 2% от о. м. э.). Далее бензиновый экстракт упаривали и добавляли воду температурой 60 °С и 30%-й водный раствор едкого натра. Смесь перемешивали в течение 1 ч при температуре 80–90 °С. Для выделения смоляных и высших жирных кислот в раствор добавляли 30%-й водный раствор серной кислоты и бензин. После выделения кислот раствор повторно обрабатывали бензином и 30%-м водным раствором серной кислоты для выделения репеллента (49,8% от о. м. э.) и хлорофиллиновых кислот (3,9% о. м. э.). Остатки экстракта разгоняли под вакуумом и получали три фракции: маслянистую жидкость с запахом скипидара (3,9% от о. м. э.), кристаллы мазеобразной консистенции (16,9% от о. м. э.), кристаллы, содержащие изоабиенол (0,89% от о. м. э.). Рафинированную сосновую зелень обрабатывали 1%-м водным раствором щавелекислого аммония в течение 1 ч, сепарировали на шрот и экстракт, упаривали экстракт до образования сиропообразной массы, добавляли этиловый спирт для осаждения пектиновых веществ, отделяли хлопья пектиновых веществ от экстракта и высушивали. Выход пектиновых веществ составил 2,1%.

В работе [Косянский, Косянская, 1976] описан способ получения пектина. Растительное сырьё загружали в резервуар с алюминиевыми электродами, где под действием постоянного тока при температуре 38 °С и рН 4,3 трехвалентные ионы алюминия переходили в водный раствор. Пектино-алюминиевый коагулянт быстро оседал на дно резервуара и непрерыв-

но отводился с помощью центрифуги. Выход пектиновых веществ составил 7,5% от общей массы сырья.

Нахмедов Ф.Г. с соавторами [1975] предложил способ производства пектина. Растительное сырье замораживали при температуре  $-30-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 25 – 30 мин, затем обрабатывали горячей водой ( $90-95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 30–40 мин в соотношении 1:1. После того, как температура достигала  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в раствор добавляли ферментные препараты целлюлолитического комплекса в количестве 0,1–0,3% к весу сырья и проводили гидролиз-экстракцию в течение 2–3 ч при температуре  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Полученный экстракт включает в себя пектиновые вещества, дубильные вещества, сахара, органические кислоты, минеральные вещества и др. Содержание сухих веществ составляет 25–30% от общей массы сырья, из них 5–7% – пектиновые вещества.

Бабкиным В.А. с соавторами [2003] была проведена экстракционная переработка коры лиственницы в практически полезные продукты. Кору лиственницы обрабатывали гексаном для выделения хвойного воска, после обработки проводили сепарацию на твердый остаток и гексановый раствор. Сухой остаток после сепарации обрабатывали горячей водой для выделения водорастворимых веществ, далее сепарировали на обессмоленный остаток и водный раствор. Для выделения пектиновых веществ обессмоленную кору лиственницы экстрагировали оксалатом аммония и щавелевой кислотой. Выход пектиновых веществ составил 2–6%.

В работе [Архипов и др., 1996] описан способ получения пектина из растительного сырья. Измельченное растительное сырье промывали водным раствором соляной кислоты, далее после промывки проводили гидролиз-экстрагирование 0,1–0,15%-м раствором соляной и азотной кислот, сепарировали на шрот и экстракт. После сепарации экстракт упаривали и смешивали с 0,2–0,3%-м раствором фосфорной кислоты и выдерживали в течение 15 мин. Далее смесь концентрировали и очищали ультрафильтрацией. Выход пектиновых веществ составил 6% от общей массы сырья с 90%-й чистотой.

[Willfer et al., 2005] было проведено исследование по определению полисахаридов в хвойных породах деревьев. Были проанализированы содержание и состав углеводов, полисахаридов в заболони и сердцевине 12 видов. Пектины, то есть полигалактуроновые кислоты, являются основными кислыми полисахаридами во всех видах. Также были проанализированы количество и состав водорастворимых углеводов в измельченных образцах древесины, так как они важны в измельчении и могут служить источником биоактивных полимеров. Основными полисахаридами, выделяемыми из древесины ели, были маннаны, из заболони – крахмал.

В работе Типсиной Н.Н. с соавторами [2014] описан способ извлечения пектинов из хвойных пород деревьев, а также перспективы их использования в пищевой промышленности. В качестве сырья использовали кору и луб сосны, лиственницы, ели. Способ включает в себя механическую очистку коры и луба, измельчение, экстрагирование водорастворимых веществ при температуре 60 °С, сепарацию на твердый остаток и экстракт, экстракцию этиловым спиртом в течение 10 ч, экстракцию пектиновых веществ 0,5%-м водным раствором щавелевокислого аммония при температуре 100 °С и соотношении сырье:экстракт 1:30, осветление экстракта, осаждение пектина, сушку и размол. Выход пектина составил из коры сосны 3%, ели – 5,6%, лиственницы – 3,2%; из луба сосны – 13,5%, ели – 13,7%, лиственницы – 10,6%.

Патова О.А. с соавторами [2010] предложила способ получения полисахаридов из древесной зелени хвойных растений. Измельченную свежесрубленную зелень пихты экстрагировали в аппарате Сокслета органическими растворителями (этилацетатом, хлороформом). После удаления низкомолекулярных примесей сырье высушивали и отправляли на экстракцию водным раствором соляной кислоты при температуре 50 °С в течение 2 ч. Разделение сырья и экстракта проходило в центрифуге. После сепарации экстракт упаривали и разбавляли трехкратным объемом 96%-го этилового спирта. Выпавшие в осадок пектиновые вещества высушивали и измельчали. Продукт представляет собой порошок без запаха, светло-коричневого и кремового цвета. Выход пектиновых веществ составил 2–4% от общей массы сырья.

[Hwang et al., 1977] провели анализ основных компонентов хвои сосны, содержания пектинов и дубильных веществ, и других доступных компонентов. Для анализа терпеноидных компонентов из четырёх видов хвои сосны проводили паровую дистилляцию. Полученные эфирные масла были проанализированы с помощью газовой хроматографии и газовой хроматографии с масс-спектрометрией. Было установлено, что сосна корейская (*P. koraiensis* Siebold & Zucc.) обладает наиболее высоким содержанием как пектина (0,4%), так и дубильных веществ (1,05%).

В работе [Семеньева и др., 2020] был проведен кислотный гидролиз с применением щавелевой, лимонной, борной, уксусной и соляной кислот для определения молекулярно-массовых характеристик и сорбционных свойств пектина. В качестве исходного сырья использовали кожуру, ядрышки, жмых яблоч, жмых свеклы, лимонной корки и хвою сосны. Сырье с экстрагентом нагревали в кипящей водяной бане с обратным холодильником в течение 1

ч. После экстрагирования экстракт нейтрализовали раствором аммиака и осаждали пектин 96%-м этанолом. Для определения степени этерификации образцов пектина проводили потенциометрические титрования. Была выявлена зависимость степени этерификации как от исходного сырья, так и от метода извлечения. Для изучения сорбционной способности пектина был применен метод обратного комплексонометрического титрования.

[Slathia et al., 2020] была проведена предварительная обработка хвои сосны разбавленной кислотой с использованием методологии поверхности отклика для производства биоэтанола путем раздельного гидролиза и ферментации. В качестве сырья использовали хвою сосны Роксбурга (*Pinus roxburghii* Sarg.). Хвою подвергали термохимической предварительной обработке с использованием разбавленных растворов (0,5%, 1%, 1,5% и 2%) соляной кислоты. Максимальный выход редуцирующих сахаров составил 96 мг/г сырья при использовании 1% соляной кислоты. Фурье-спектроскопический анализ показал снижение содержания лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы в хвое сосны в процессе предварительной обработки. Для выделения пектинов был проведён ферментативный гидролиз при температуре 30 °С и скорости перемешивания 200 об/мин в течение 72 ч. Отбор проб проводили каждые 24 ч. Каждую пробу центрифугировали. Затем определяли степень гидролиза с помощью метода DNS (3,5-дINITРОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ).

[Mahmoud et al., 2023] была изучена хвоя Алеппской сосны. Были проведены физико-химические и спектроскопические анализы. Была определена пористость хвои, гигроскопичность, кислотность, влажность и проницаемость. Плотность в безводном состоянии составила 0,6, содержание углерода – 79,91%, кислорода – 18,91% в форме ароматических соединений и отпечатков кетонов. Содержание биологически активных веществ в хвое сосны составило: пектина – 1÷2,5%, целлюлозы – 48–56%, лигнина – 26–30%, гемицеллюлоз – 23–26% от общей массы сырья.

В работе [Shakhmatov et al., 2015] были исследованы способ экстракции и структурные характеристики пектиновых полисахаридов из пихты сибирской (*Abies sibirica* L.). Из хвои пихты были выделены структурно различающиеся пектины путём последовательной экстракции водой, раствором соляной кислоты и раствором аммиака. Растворы концентрировали на роторном выпарном аппарате при пониженном давлении и температуре 40–45 °С, центрифугировали при 5000–6000 об/мин в течение 10–20 мин и высушивали при пониженной температуре. Молекулярную массу и полидисперсность фракций полисахаридов определяли с помощью высо-

коэффициентной жидкостной хроматографией. Содержание пектина в растворе составило 69%.

[Bhattacharjee, Timell, 1965] было проведено исследование содержания пектина в коре пихты миловидной, а также разделение его на кислоты. Выход пектиновых веществ составил 2% от общей массы коры пихты. В процессе гидролиза пектиновые вещества дали D-галактуроновую кислоту, D-галактозу и L-арабинозу в соотношении 85%:4%:11%, а также следы рамнозы. Для дальнейшего разделения использовали подкисление водного раствора пектина с последующим ультрацентрифугированием. Пектиновый материал был разделен на галактуронан и пектиновую кислоту, содержащую четыре остатка сахара, обычно встречающихся в пектинах.

*Заключение.* Аналитический анализ результатов научных исследований показал, что недревесные части хвойных пород представляют собой источник ценных биологически активных компонентов, таких как пектин, хвойный воск, антоцианидиновый краситель. Содержание пектина может достигать 12%, хвойного воска – 7,1%, антоцианидинового красителя – 14% от общей массы недревесного сырья в зависимости от места произрастания, части дерева и способа извлечения.

Сравнительный анализ предложенных технологий комплексной переработки позволяет сделать следующие ключевые выводы об их эффективности и направленности:

1. Наиболее эффективной и сбалансированной технологией является методика, предложенная [Левданский и др., 2008]. Переработка коры ели оптимальна для извлечения сразу трех ценных компонентов. Выход хвойного воска (6–7%), антоцианидинового красителя (13–14%) и пектина (10–12%) является максимальным среди рассмотренных схем. Это указывает на высокую эффективность последовательной экстракции и оптимальный подбор экстрагентов для данного вида сырья;

2. Технологии с максимальным охватом продуктов, предложенные [Речкина, 2009, 2010], ориентированы на переработку древесной зелени сосны. Они демонстрируют высокую комплексность, позволяя извлекать широкий спектр биологически активных веществ. Помимо пектина и воска, данные методы нацелены на получение эфирных масел, хлорофиллокаротиновой пасты, репеллентов и других специфических соединений. Однако этот широкий охват достигается за счет снижения выхода пектина (1,7–2,6% и 2,1% соответственно), что делает данные технологии менее эффективными именно для целей пектинового производства;

3. Узконаправленные и универсальные методы [Бабкин и др., 2003, 2010] по переработке коры лиственницы занимают промежуточное положение. Они охватывают основные целевые продукты (хвойный воск и пектин), но демонстрируют нестабильный и варьирующийся выход пектина (2–6%), что, вероятно, сильно зависит от конкретных параметров сырья и условий процесса.

Для максимизации выхода пектина и красителя наилучшие результаты показывает переработка коры ели по методу [Левданский и др., 2008].

Анализ показывает, что не существует универсальной технологии, одинаково эффективной для извлечения всех ценных компонентов. Выбор оптимального метода напрямую зависит от сырьевой базы (кора или древесная зелень) и целевого продукта.

*Вклад авторов.* Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

*Сведения о финансировании* исследования. Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ. (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025).

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

### Библиографический список

Аймухамедова Г.Б., Шелухина Н.П. Пектиновые вещества и методы их определения. Фрунзе, 1964. 119 с.

Антоцианидиновый краситель: поиск по сайту // Агросервер. URL: <https://agroserver.ru/search/антоцианидиновый+краситель/1/0/0/0/0/1/> (дата обращения: 15.12.2024).

Архипов Х.Н., Турахожаев Т.М., Крайнов В.И., Григор В.Ф., Пулатов А.А. Патент №2051594 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/0524. Способ получения пектина из растительного сырья. Заявка №5051950/13, заявл. 13.07.1992, опубл. 10.01.1996.

Бабкин В.А., Иванова Н.В., Остроухова Л.А., Малкова Ю.А., Иванова С.З., Попова О.В. Экстракционная переработка коры лиственницы в практически полезные продукты // Хвойные boreальные зоны, 2003. №1. С. 113 – 116.

Бабкин В.А., Иванова Н.В., Трофимова Н.Н., Еськова Л.А., Салеев Р.К., Нурминский В.Н., Корзун А.М., Феоктистова Л.П., Сапожников А.Н., Лихошвай Е.В., Арсеньев К.С. Патент № 2403263 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/06, В82В 1/00. Способ получения пектина из коры лиственницы, обладающего мембраностабилизирующей активностью и способностью восстанавливать ионы се-

ребра, нанобиокомпозиты серебра, стабилизированные пектином. Заявка №2009124931/13, заявл. 29.06.2009, опубл. 10.11.2010.

*Безруких Ю.А., Медведев С.О., Алашкевич Ю.Д., Мохирев А.П.* Рациональное природопользование в условиях устойчивого развития экономики промышленных предприятий лесного комплекса // Экономика и предпринимательство. 2014. Т. 2, №12. С. 994–996.

*Бутылкина А.И., Левданский В.А., Кузнецов Б.Н.* Изучение состава экстрактивных веществ, выделенных из коры сосны различными методами // Химия растительного сырья, 2011. №2. С. 77–82.

Географическое положение и климат // Официальный Татарстан. URL: <https://tatarstan.ru/about/geography.htm> (дата обращения: 15.12.2024).

*Дейнеко И.П., Пранович А.В., Рубанова В.Ф., Белов Л.П.* Изучение химического состава хвойного воска // Химия растительного сырья. 2005. №1. С. 13–18.

*Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Белов Л.П.* Исследование химического состава коры сосны // Химия растительного сырья. 2007. №1. С. 19 – 24.

*Ефремова А.А., Кондратюк Т.А.* Выделение пектина из нетрадиционного растительного сырья и применение его в кондитерском производстве // Химия растительного сырья. 2008. №4. С. 171–176.

*Зиятдинова Д.Ф., Соловьева Е.Н., Назипова Л.Р., Сафина А.В., Валеев К.В., Сафин Р.Г.* Моделирование процессов влагопоглощения древесины при изменении давления среды // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, №1. С. 25–29. DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_1\_25.

*Иванова Н.В., Попова О.В., Бабкин В.А.* Изучение влияния различных факторов на выход и некоторые характеристики пектиновых веществ коры лиственницы // Химия растительного сырья. 2003. №4. С. 43–46.

*Каменев Я.А.* Концептуальные аспекты совершенствования территориального планирования лесопромышленного комплекса региона // Российское предпринимательство. 2015. №8, вып. 2. С. 75–79.

*Косьянский Б.С., Косьянская Е.Б.* Способ получения пектина. Авторское свидетельство №465172. СССР, 1976. Бюл. №12.

*Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П.* Многопараметрическая оценка таксономической близости видов ели (*Picea a. Dietr.*) по пигментному составу хвои // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование., 2018. Т. 37., №1. С. 5–18. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5.

*Левданский В.А., Бутылкина А.И., Кузнецов Б.Н.* Патент № 2332438 С1 Российская Федерация, МПК C09F 1/00, C11B 11/00, C11B 1/10. Способ переработки коры ели. Заявка №2007114668/04, заявл. 18.04.2007, опубл. 27.08.2008.

*Нахмедов Ф.Г., Фрумкин М.Л., Калунянц К.А., Гребешова Р.Н., Румянцева Г.Н., Зайцева Н.Н.* Способ производства пектина. Авторское свидетельство №467732. СССР, 1975. Бюл. №15.

- Нуштаева А.В. Химия древесины: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2013. 100 с.
- Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М: Экология, 1991. 319 с.
- Патова О.А., Макарова Е.Н., Шахматов Е.Г. Патент № 2448119 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/06, А23Л 1/0524. Способ получения полисахаридов из древесной зелени хвойных растений. Заявка №2010121802/13, заявл. 28.05.2010, опубл. 20.04.2012.
- Пермякова Г.В., Анискина А.А. Динамика содержания пектиновых веществ в коре *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* // Химия растительного сырья. 2024. №4. С. 80–88. DOI: 10.14258/jcprm.20240412916.
- Птичкина Н.М., Ишин А.Г., Данилова И.А. Патент № 2055484 С1 Российская Федерация, МПК А23Л 1/0524. Способ получения пектина. Заявка №5035191/13, заявл. 31.03.1992, опубл. 10.03.1996.
- Речкина Е.А. Переработка древесной зелени сосны обыкновенной с получением пектиновых веществ: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2012. 138 с.
- Речкина Е.А., Губаненко Г.А., Рубчевская Л.П. Патент № 2364409 С1 Российская Федерация, МПК А61К 36/15. Способ переработки древесной зелени сосны обыкновенной. Заявка №2008126692/15, заявл. 30.06.2008, опубл. 20.08.2009.
- Речкина Е.А., Губаненко Г.А., Рубчевская Л.П. Выделение пектиновых веществ из древесной зелени сосны обыкновенной // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 189–190.
- Роцин В.И., Васильев С.Н., Павлуцкая И.С., Колодынская Л.А. Патент №2017782 С1 Российская Федерация. МПК С09F 1/00, С11В 1/10. Способ переработки древесной зелени хвойных пород. Заявл. 22.07.1991, опубл. 15.08.1994.
- Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок. Технические рекомендации. СПб.: ГИОРД, 2005. 200 с.
- Семеньева Л.Л., Кулешова Н.В., Митин А.В., Белая Т.А., Мочкина Д.В. Молекулярно-массовые характеристики и сорбционные свойства пектина, выделенного из разных субстратов // ИВУЗ. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10, №4. С. 728–737. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-728-737.
- Тупсина Н.Н., Тупсин Э.А., Батурина Н.Г. Пектины из хвойных пород деревьев. Перспективы их использования в пищевой промышленности // Вестник КрасГАУ. 2014. №12. С. 231–233.
- Ушанова В.М., Батура Н.Г., Воробьева З.К. Изучение влияния функциональных групп пектинов из коры хвойных пород деревьев на их студнеобразующие свойства // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, №3-4. С. 362–364.
- Хурикайнен Т.В., Кучин А.В., Скрипова Н.Н. Патент № 2493172 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/06. Способ переработки древесной зелени пихты. Заявка №2012116170/134, заявл. 20.04.2012, опубл. 20.09.2013.
- Шелухина Н.П., Абаева Р.Ш., Аймухамедова Г.Б. Пектин и параметры его получения. Фрунзе, 1987. 91 с.

Эксперт заявил, что спрос на БАДы в России растет на 20–25% в год // ТАСС. 2023. URL: <https://tass.ru/obschestvo/18641517> (дата обращения: 15.12.2024).

Ярцева Н.А., Пермьякова Г.В. Способ получения пектина из растительного сырья. Авторское свидетельство № 563154. СССР, 1977. Бюл. №24.

Bhattacharjee S.S., Timell T.E. A study of the pectin present in the bark of amabilis fir (*Abies amabilis*) // Canadian Journal of Chemistry. 1965. No. 4. P. 758–765. DOI: 10.1139/v65-101.

Hwang B.H., Lee H.J., Kang H.Y., Liu S., Cho J.H., Zhao J. Studies on the analysis of special components of major pine needles for searching of the new functional substances (I)-analysis of pectin, tannin and terpenoids // Journal of Forest and Environmental Science. 1997. No. 1. P. 134–142.

Mahmoud R., Hjouji K., Mehdaoui I., Saoudi Hassani E.M., Ben Abbou M., Majbar Z., Rais Z. The needles of Aleppo pine from the province of Taza-Morocco – a biomaterial of great potential // Journal of Ecological Engineering. 2023. No. 1. P. 41–50. DOI: 10.12911/22998993/156008.

Slathia P.S., Raina N., Kiran A., Kour R., Bhagat D., Sharma P. Dilute acid pre-treatment of pine needles of *Pinus roxburghii* by response surface methodology for bioethanol production by separate hydrolysis and fermentation // Biomass Conversion and Biorefinery. 2020. No. 1. P. 95–106. DOI: 10.1007/s13399-019-00433-1.

Shakhmatov E.G., Udoratina E.V., Atukmaev K.V., Makarova E.N. Extraction and structural characteristics of pectic polysaccharides from *Abies sibirica* L. // Carbohydrate polymers. 2015. No. 123. P. 228–236. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.01.041.

Willfer S., Sundberg A., Hemming J., Holmbom B. Polysaccharides in some industrially important softwood species // Wood Sci. Technol. 2005. No. 39. P. 245–258. DOI: 10.1007/s00226-004-0280-2.

## References

Aimukhomedova G.B., Shelukhina N.P. Pectin substances and methods for their determination. Frunze, 1964. 119 p. (In Russ.)

Anthocyanidin dye: website search. Agroservers. URL: <https://agroservers.ru/search/антоцианидиновый+краситель/1/0/0/0/0/1/> (accessed December 15, 2024). (In Russ.)

Arkhipov Kh.N., Turakhozhayev T.M., Krainov V.I., Grigor V.F., Pulatov A.A. Patent No. 2051594 C1 Russian Federation, IPC A23L 1/0524. Method for producing pectin from plant raw materials. Appl. no. 5051950/13, appl. 07/13/1992, publ. 01/10/1996. (In Russ.)

Babkin V.A., Ivanova N.V., Ostroukhova L.A., Malkova Yu.A., Ivanova S.Z., Popova O.V. Extraction processing of larch bark into practically useful products. *Coniferous boreal zones*, 2003, no. 1, pp. 113 – 116. (In Russ.)

Babkin V.A., Ivanova N.V., Trofimova N.N., Eskova L.A., Salyaev R.K., Nurminsky V.N., Korzun A.M., Feoktistova L.P., Sapozhnikov A.N., Likhoshvay E.V.,

Arsen'yev K.S. Patent no. 2403263 C1 Russian Federation, IPC C08B 37/06, B82B 1/00. Method for obtaining pectin from larch bark, possessing membrane-stabilizing activity and the ability to reduce silver ions, silver nanobiocomposites stabilized with pectin. Appl. no. 2009124931/13, appl. 06/29/2009, publ. 11/10/2010. (In Russ.)

Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O., Alashkevich Yu.D., Mokhirev A.P. Rational nature management in the context of sustainable development of the economy of industrial enterprises of the forestry complex. *Economy and entrepreneurship*, 2014, vol. 2, no. 12, pp. 994–996. (In Russ.)

Bhattacharjee S.S., Timell T.E. A study of the pectin present in the bark of amabilis fir (*Abies amabilis*). *Canadian Journal of Chemistry*, 1965, no. 4, pp. 758–765. DOI: 10.1139/v65-101.

Butylkina A.I., Levdanskiy V.A., Kuznetsov B.N. Study of the composition of extractive substances isolated from pine bark by various methods. *Chemistry of plant raw materials*, 2011, no. 2, pp. 77–82. (In Russ.)

Deineko I.P., Pranovich A.V., Rubanova V.F., Belov L.P. Study of the chemical composition of pine wax. *Chemistry of plant raw materials*, 2005, no. 1, pp. 13–18. (In Russ.)

Deineko I.P., Deineko I.V., Belov L.P. Study of the chemical composition of pine bark. *Chemistry of plant raw materials*, 2007, no. 1, pp. 19–24. (In Russ.)

Efremova A.A., Kondratyuk T.A. Isolation of pectin from non-traditional plant raw materials and its use in confectionery production. *Chemistry of plant raw materials*, 2008, no. 4, pp. 171–176. (In Russ.)

The expert stated that the demand for dietary supplements in Russia is growing by 20–25% per year. TASS, 2023. URL: <https://tass.ru/obschestvo/18641517> (accessed December 15, 2024). (In Russ.)

Geographical location and climate. *Official Tatarstan*. URL: <https://tatarstan.ru/about/geography.htm> (accessed December 15, 2024). (In Russ.)

Hwang B.H., Lee H.J., Kang H.Y., Liu S., Cho J.H., Zhao J. Studies on the analysis of special components of major pine needles for searching of the new functional substances (I)-analysis of pectin, tannin and terpenoids. *Journal of Forest and Environmental Science*, 1997, no. 1, pp. 134–142.

Ivanova N.V., Popova O.V., Babkin V.A. Study of the influence of various factors on the yield and some characteristics of pectin substances in larch bark. *Chemistry of plant raw materials*, 2003, no. 4, pp. 43–46. (In Russ.)

Kamenev Ya.A. Conceptual aspects of improving the territorial planning of the regional forest industry complex. *Russian entrepreneurship*, 2015, vol. 2, no. 8, pp. 75–79. (In Russ.)

Khurshkainen T.V., Kuchin A.V., Skripova N.N. Patent no. 2493172 C1 Russian Federation, IPC C08B 37/06. Method for processing fir wood greenery. Appl. no. 2012116170/134, appl. 04/20/2012, publ. 09/20/2013. (In Russ.)

Kosyanskiy B.S., Kosyanskaya E.B. Method for obtaining pectin. Author's certificate no. 465172. USSR, 1976. Bull. no. 12. (In Russ.)

*Kulkova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P.* Multiparameter assessment of the taxonomic proximity of spruce species (*Picea a.* Dietr.) by the pigment composition of needles. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2018, Vol. 37, no. 1, pp. 5–18. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.5 (In Russ.)

*Levdanskii V.A., Butylkina A.I., Kuznetsov B.N.* Patent no. 2332438 C1 Russian Federation, IPC C09F 1/00, C11B 11/00, C11B 1/10. Method of processing spruce bark. Appl. no. 2007114668/04, appl. 04/18/2007, publ. 08/27/2008. (In Russ.)

*Mahmoud R., Hjouji K., Mehdaoui I., Saoudi Hassani E. M., Ben Abbou M., Majbar Z., Rais Z.* The needles of Aleppo pine from the province of Taza-Morocco – a biomaterial of great potential. *Journal of Ecological Engineering*, 2023, no. 1, pp. 41–50. DOI: 10.12911/22998993/156008.

*Nakhmedov F.G., Frumkin M.L., Kalunyants K.A., Grebeshova R.N., Rumyantseva G.N., Zaitseva N.N.* Method for producing pectin. Author's certificate no. 467732. USSR, 1975. Bull. no. 15. (In Russ.)

*Nushtaeva A.V.* Wood chemistry: textbook. Penza: PSUAS, 2013. 100 p. (In Russ.)

*Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A.* Laboratory work on wood and cellulose chemistry. Moscow: Ecology, 1991. 319 p. (In Russ.)

*Patova O.A., Makarova E.N., Shakhmatov E.G.* Patent no. 2448119 C1 Russian Federation, IPC C08B 37/06, A23L 1/0524. Method for obtaining polysaccharides from wood greenery of coniferous plants. Appl. no. 2010121802/13, appl. 05/28/2010, publ. 04/20/2012. (In Russ.)

*Permyakova G.V., Aniskina A.A.* Dynamics of the content of pectin substances in the bark of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii*. *Chemistry of plant raw materials*, 2024, no. 4, pp. 80–88. DOI: 10.14258/jcpr.20240412916. (In Russ.)

*Ptichkina N.M., Ishin A.G., Danilova I.A.* Patent no. 2055484 C1 Russian Federation, IPC A23L 1/0524. Method for obtaining pectin. Appl. no. 5035191/13, appl. 03/31/1992, publ. 03/10/1996. (In Russ.)

*Rechkina E.A.* Processing of wood greenery of Scots pine to obtain pectin substances. Diss. ... Cand. Tech. Sci. Krasnoyarsk, 2012. 138 p. (In Russ.)

*Rechkina E.A., Gubanenko G.A., Rubchevskaya L.P.* Patent no. 2364409 C1 Russian Federation, IPC A61K 36/15. Method for processing wood greenery of Scots pine. Appl. no. 2008126692/15, appl. 06/30/2008, publ. 08/20/2009. (In Russ.)

*Rechkina E.A., Gubanenko G.A., Rubchevskaya L.P.* Isolation of pectin substances from wood greenery of Scots pine. *Chemistry of plant raw materials*, 2010, no. 4, pp. 189–190. (In Russ.)

*Roshchin V.I., Vasilyev S.N., Pavlutsкая I.S., Kolodynsкая L.A.* Patent no. 2017782 C1 Russian Federation. IPC C09F 1/00, C11B 1/10. Method for processing coniferous wood greenery. Appl. 07/22/1991, publ. 08/15/1994. (In Russ.)

*Sarafanova L.A.* Use of food additives. Technical recommendations. St. Petersburg: GIORD, 2005. 200 p. (In Russ.)

Semenycheva L.L., Kuleshova N.V., Mitin A.V., Belaya T.A., Mochkina D.V. Molecular weight characteristics and sorption properties of pectin extracted from different substrates. *BHEI. Applied chemistry and biotechnology*, 2020, vol. 10, no. 4, pp. 728–737. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-728-737. (In Russ.)

Shakhmatov E.G., Udoratina E.V., Atukmaev K.V., Makarova E.N. Extraction and structural characteristics of pectic polysaccharides from *Abies sibirica* L. *Carbohydrate polymers*, 2015, no. 123, pp. 228–236. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.01.041.

Sheloukhina N.P., Abaeva R.Sh., Aimukhamedova G.B. Pectin and parameters for its production. Frunze, 1987. 91 p. (In Russ.)

Slathia P.S., Raina N., Kiran A., Kour R., Bhagat D., Sharma P. Dilute acid pretreatment of pine needles of *Pinus roxburghii* by response surface methodology for bioethanol production by separate hydrolysis and fermentation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020, no. 1, pp. 95–106. DOI: 10.1007/s13399-019-00433-1.

Tipsina N.N., Tipsin E.A., Baturina N.G. Pectins from coniferous trees. Prospects for their use in the food industry. *Bulletin of KrasSAU*, 2014, no. 12, pp. 231–233. (In Russ.)

Ushanova V.M., Batura N.G., Vorobyova Z.K. Study of the influence of functional groups of pectins from the bark of coniferous trees on their gelling properties. *Conifers of the boreal zone*, 2008, vol. 25, no. 3-4, pp. 362–364. (In Russ.)

Willfer S., Sundberg A., Hemming J., Holmbom B. Polysaccharides in some industrially important softwood species. *Wood Sci. Technol.*, 2005, no. 39, pp. 245–258. DOI: 10.1007/s00226-004-0280-2.

Yartseva N.A., Permyakova G.V. Method for obtaining pectin from plant raw materials. Author's certificate no. 563154. USSR, 1977. Bull. no. 24. (In Russ.)

Ziatdinova D.F., Solovieva E.N., Nazipova L.R., Safina A.V., Valeev K.V., Safin R.G. Modeling of wood moisture absorption processes under changing environmental pressure. *Bulletin of the Technological University*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 25–29. DOI: 10.55421/1998-7072\_2024\_27\_1\_25. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 21.03.2025

---

**Сафин Р.Г., Валеев К.В., Степанова Т.О.** Обзор исследований по извлечению пектина и побочных продуктов из недревесных частей хвойных пород // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 444–466. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.444-466

Особые характеристики хвойных деревьев определяют сложность их изучения и огромную важность с различных точек зрения. Хвойные породы, как правило, считаются одним из самых сложных лигноцеллюлозных видов сырья для экстракции биологически активных веществ, пригодных для ферментации, в первую очередь, из-за природы и количества лигнина. По химическому составу хвойные деревья содержат большое количество ценных биологически активных

веществ: пектин, хвойный воск, антоцианидиновый краситель. Пектин защищает клетки от окислительного стресса, способствует омоложению и укреплению иммунитета; хвойный воск является перспективным компонентом для косметической промышленности, обладающим антисептическими, противовоспалительными и увлажняющим свойствами; антоцианидиновый краситель широко применяют в пищевой промышленности, особенно в производстве напитков, кондитерских и молочных продуктов, благодаря его натуральности, яркому цвету и антиоксидантной активности. В работе представлены результаты исследований по извлечению пектина и побочных продуктов из хвои и коры сосны, ели и лиственницы, произрастающих на территории Российской Федерации и Европы, и их сравнительный анализ с показателями качества пектинов из кожуры, ядрышек и жмыха яблок, жмыха свеклы, лимонной корки. Установлено, что пектин из древесной зелени сосны обыкновенной характеризуется самым высоким значением показателя комплексообразующей способности и количеством карбоксильных групп, отличается низкой степенью этерификации по сравнению с фруктовыми и ягодными пектинами. По результатам аналитического исследования по извлечению пектина и побочных продуктов из недревесных частей хвойных пород выявлено, что: в качестве основных экстрагентов применяют различные виды кислот (азотную, соляную, ортофосфорную, серную, лимонную, водный раствор щавелевокислого аммония); для оценки качества извлечения веществ предлагаются различные методы и способы анализа с использованием современных аппаратов (для определения степени этерификации – потенциометрическое титрование, для изучения сорбционной способности пектина – метод обратного комплексонометрического титрования и т. д.); отсутствуют оптимальные отработанные в промышленности технологии. В связи с этим разработка новых технологий по извлечению пектина и побочных продуктов из недревесных частей хвойных пород деревьев является актуальной.

Ключевые слова: пектин, хвоя, кора, сосна, ель, лиственница, экстракция.

**Safin R.G., Valeev K.V., Stepanova T.O.** Review of studies on the extraction of pectin and by-products from non-wood parts of coniferous trees. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 444–466 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.444-466

The special characteristics of conifers determine the complexity of their study and their great importance from various points of view. Conifers are generally considered to be one of the most difficult lignocellulosic raw materials for the extraction of biologically active substances suitable for fermentation, primarily due to the nature and amount of lignin. In terms of chemical composition, conifers contain a large number of valuable biologically active substances: pectin, pine wax, anthocyanidin

dye. Pectin protects cells from oxidative stress, promotes rejuvenation and strengthens the immune system; pine wax is a promising component for the cosmetic industry, possessing antiseptic, anti-inflammatory and moisturizing properties; anthocyanidin dye is widely used in the food industry, especially in the production of beverages, confectionery and dairy products, due to its naturalness, bright color and antioxidant activity. The paper presents the results of studies on the extraction of pectin and by-products from the needles and bark of pine, spruce and larch growing in the Russian Federation and Europe, and a comparative analysis with the quality indicators of pectins from the peel, kernels and cake of apples, beet cake and lemon peel. It has been established that pectin from Scots pine wood greenery is characterized by the highest value of the complexing capacity indicator and the number of carboxyl groups, and has a low degree of esterification compared to fruit and berry pectins. According to the results of an analytical study on the extraction of pectin and by-products from non-woody parts of conifers, it was revealed that: various types of acids are used as the main extractants, such as nitric, hydrochloric, orthophosphoric, sulfuric, citric and an aqueous solution of ammonium oxalate; to assess the quality of the extraction of substances, various analytical methods and analysis techniques using modern equipment are proposed (to determine the degree of esterification – potentiometric titration, to study the sorption capacity of pectin – the method of reverse complexometric titration, etc.); there are no optimal technologies developed in industry. In this regard, the development of new technologies for the extraction of pectin and by-products from non-woody parts of coniferous trees is relevant.

**Key words:** pectin, needles, bark, pine, spruce, larch, extraction.

---

**САФИН Рушан Гареевич** – заведующий кафедрой переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, профессор, доктор технических наук. SPIN-код: 9071-4441. ORCID: 0000-0002-7344-9242.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия. E-mail: safin@kstu.ru

**SAFIN Rushan G.** – DSc (Technical), Professor, Head of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 9071-4441. ORCID: 0000-0002-7344-9242.

420015. K. Marksa str. 68. Kazan. Russia. E-mail: safin@kstu.ru

**ВАЛЕЕВ Кирилл Валерьевич** – доцент кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 3659-1364. ORCID: 0000-0002-5537-9332.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия. E-mail: kirval116@mail.ru

**VALEEV Kirill V.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University. SPIN-code: 3659-1364. ORCID: 0000-0002-5537-9332.

420015, K. Marksa str. 68. Kazan. Russia. E-mail: kirval116@mail.ru

**СТЕПАНОВА Татьяна Олеговна** – доцент кафедры «Переработки древесных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), кандидат технических наук. SPIN-код: 1853-4131. ORCID: 0000-0001-8439-8033.

420015, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия. E-mail: stepanova-211190@yandex.ru

**STEPANOVA Tatiana O.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University (KNITU). SPIN-code: 1853-4131. ORCID: 0000-0001-8439-8033.

420015, K. Marx str. 68. Kazan. Russia. E-mail: stepanova-211190@yandex.ru

**П.М. Кейзер, А.С. Черноус, Е.Г. Смирнова, В.К. Дубовый**

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ  
ИЗ ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА**

*Введение.* Древесное сырье является возобновляемым источником получения волокнистых полуфабрикатов, но его ресурсы небезграничны, поэтому существует проблема рационального использования древесины и снижения нагрузки на древесное сырье за счет вовлечения альтернативных источников сырья из однолетних и многолетних растений и отходов сельскохозяйственного производства.

В 2024 г. подсолнечник подтвердил статус одной из самых маргинальных культур в России; она осталась среди мировых лидеров по его производству. На долю российского подсолнечного масла приходится 36% мирового экспорта. К началу сезона 2024/25 перерабатывающие мощности масличных культур в России достигли 32,5 млн т. Ожидается, что к концу 2025 г. суммарные мощности переработки достигнут 35 млн тонн, что создаст дополнительные возможности для наращивания объемов [Подсолнечник..., 2025].

При производстве растительного масла на маслоперерабатывающих заводах из семян подсолнечника остаются такие отходы, как лузга (шелуха), шрот, жмых, которые составляют 35% от массы семян; лузга составляет 16–18%. В настоящее время существует несколько способов использования подсолнечной лузги. Помимо использования в комбикормах, лузгу подсолнечника применяют как органическое удобрение для рыхления и улучшения почвы, а также для получения фурфурола, этилового спирта, кормовых дрожжей [Хусид и др., 2015; Фоменко и др., 2021]. Также лузгу семян применяют для синтеза биогаза, изготовления декоративных и звукоизоляционных плит, производства гранулированного топлива [Харьков и др., 2018; Плотников, Челышева, 2021; Караева и др., 2023; Материалы..., 2024].

Однако несмотря на существующие методы переработки лузги подсолнечника, проблема ее утилизации на маслоперерабатывающих предприятиях, где суточный объем отходов иногда достигает 100 тонн, стоит достаточно остро. Поэтому поиск способов переработки подсолнечной лузги является актуальной задачей.

Объектом исследования стала лузга подсолнечника из Белгородской области урожая 2023 г. Результаты исследования компонентного состава используемого сырья приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Компонентный состав подсолнечной лузги**

**Component composition of sunflower husk**

Показатели	Лузга подсолнечника	Методика исследования
Массовая доля целлюлозы, %	63	[Оболенская и др., 1991]
Лигнин, %	28,1	ГОСТ 11960
Вещества, растворимые в горячей воде, %	20,5	[Оболенская и др., 1991]
Вещества, растворимые в органических растворителях, %	1,7	ГОСТ 6841
Зольность, %	8	ГОСТ 18461

Приведенный химический состав лузги подсолнечника согласуется с литературными данными [Калашникова и др., 2011] и показывает, что в лузге подсолнечника содержится больше целлюлозы, чем в древесном сырье, что делает ее перспективной для дальнейшей переработки в целлюлозно-бумажной промышленности. Также следует отметить значительное количество веществ, растворимых в горячей воде, в которые входят красители и пигменты. Особенно нужно выделить вещество черного цвета, которое образуется между пробковой тканью и склеренхимой – фитомелан, не растворяющееся в воде, кислотах и щелочах.

Известно, что щелочные способы варки позволяют перерабатывать широкий спектр однолетнего растительного сырья для получения волокнистых полуфабрикатов, применяемых в производстве бумаги и картона [Тунцев и др., 2023]. Однако этот способ имеет определенные недостатки. В сильнощелочной среде разлагаются углеводы в результате щелочного гидролиза, что снижает выход, кроме того, однолетние растения содержат довольно много кремнезема, и сильнощелочные варочные растворы в значительной степени растворяют его. Растворенный кремнезем создает проблемы с осаждением силиката в выпарных аппаратах и на установках каустизации. Также известен способ получения волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника с химико-гидролитической обработкой в растворе реагента из ряда: NaOH; HNO<sub>3</sub>; Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> [Щербакова и др., 2024]. В данной работе был применен комбинированный способ делигнификации для получения целлюлозы – щелочно-сульфитная варка.

Методом щелочно-пероксидной низкотемпературной обработки с последующим механическим размолом лузги подсолнечника был получен волокнистый полуфабрикат высокого выхода.

*Цель работы* – исследовать морфологические характеристики волокнистых полуфабрикатов, полученных из лузги подсолнечника разными способами.

*Материалы и методика исследования.* Методика получения волокнистого полуфабриката высокого выхода предусматривает пропаривание исходного сырья при температуре 100 °С в течение 10 мин. Затем лузга помещается в раствор гидроксида натрия соответствующей концентрации с температурой 25 °С, в котором выдерживается в течение 10 мин для обеспечения диффузии химикатов в лузгу (I степень пропитки). Пропитанная лузга отжимается под прессом, после чего сливается раствор гидроксида натрия и заливается – перекись водорода, затем снимается давление пресса, и лузга выдерживается в растворе в течение 10 мин. После этого лузга в растворе нагревается до 80 °С и размалывается на лабораторном рафинёре (10 мин роспуск, 3 мин размол) до степени помола 40 °ШР. Гидромодуль – 1:10. Были заданы два уровня концентрации щелочи (5 и 10%), концентрация пероксида водорода в обоих случаях составляла 4%. Полученный волокнистый полуфабрикат промывали до нейтральной реакции сточных вод и определяли его выход и структурно-морфологические характеристики волокон.

При получении щелочно-сульфитной целлюлозы условия эксперимента были заданы следующие. Был использован временной режим варки – 5 ч (3 ч, собственно, на варку). Были заданы три уровня активной щелочи (12, 14, и 18% в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$ ), температура варки – 165 °С – и два соотношения гидроксида натрия к сульфиту натрия (30/70, 50/50). Все варки проводили в лабораторном автоклаве, использовалось 200 г. а.с. лузги, гидромодуль – 1:12. В конце каждой варки материал промывали горячей водой. Оставшийся раствор отделяли ручным прессованием. После проведения варок полученный волокнистый полуфабрикат промывали до нейтральной реакции сточных вод и определяли его выход.

*Результаты исследования и обсуждение.* На первом этапе изучали влияние концентрации щелочи в процессе щелочно-пероксидной низкотемпературной обработки с последующим механическим размолом на выход волокнистого полуфабриката из лузги подсолнечника. Результаты представлены в табл. 2. С увеличением концентрации щелочи выход волокнистого полуфабриката снижается.

Таблица 2

**Влияние концентрации щелочи на выход волокнистого полуфабриката из лужги подсолнечника**

**The influence of alkali concentration on the yield of fibrous semi-finished product from sunflower husk**

№ образца	C <sub>NaOH</sub> , %	Степень помола, °ШП	Выход, %
1	5	36±2	86
2	10	40±2	82

На втором этапе изучали влияние активной щелочи (12-14-18%) и соотношения гидроксида натрия к сульфиту натрия (50/50 и 30/70) на выход щелочно-сульфитной целлюлозы. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Влияние активной щелочи и соотношения «сульфит натрия/гидроксид натрия» на выход и число Каппа**

**Effect of active alkali and sodium sulfite/sodium hydroxide ratio on yield and Kappa number**

№ варки	Температура, °С	Продолжительность, ч	Активная щелочь, %	Соотношение NaOH/Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Выход, %	Число Каппа
1	165	5	12	50/50	68,8	68,1
2	165	5	14	50/50	64,5	65,7
3	165	5	18	50/50	58,7	62,2
4	165	5	12	30/70	66,8	64,1
5	165	5	14	30/70	62,2	58,2
6	165	5	18	30/70	56,5	47,8

Результаты, представленные в табл. 3, показывают, что выход и число Каппа высокие. Это указывает на значительную стойкость лужги к щелочным варочным растворам. С увеличением количества активной щелочи снижается как выход, так и число Каппа. При использовании активной щелочи с концентрацией 12% выход составляет 66,8-68,8%, что может соответствовать полуцеллюлозе, при концентрации активной щелочи 18% выход составляет 56,5-58,7%, что может соответствовать целлюлозе высокого выхода.

При одинаковом количестве активной щелочи, но различном соотношении гидроксида натрия к сульфиту натрия выход выше при соотноше-

нии 50/50. При нем выход снижается быстрее, чем число Каппа, что указывает на разложение углеводов. При соотношении 30/70 (гидроксид натрия/сульфит натрия) число Каппа снижается быстрее, чем выход, что является следствием сохранения углеводов. Это указывает на лучший потенциал для использования в производстве бумаги.

Морфологические свойства волокнистых полуфабрикатов определяли на приборе Morfi Compact ISO 16065-2 и лабораторном микроскопе Микромед 3. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Структурно-морфологические характеристики полученных полуфабрикатов**  
**Structural and morphological characteristics of the obtained semi-finished products**

Наименование показателей	Волокнистый полуфабрикат высокого выхода № 1	Волокнистый полуфабрикат высокого выхода № 2	Щелочно-сульфитная целлюлоза варка № 5	Щелочно-сульфитная целлюлоза варка № 6
Средняя длина волокна, мкм	596	789	448	482
Средняя ширина волокон, мкм	35	35,3	25,5	26,2
Изогнутые волокна, %	13,4	18,0	3,5	4,1
Грубость, мг/м	0,42	0,41	1,29	1,23
Площадь мелочи к общей площади объектов, %	18,2	11,3	74,2	65,7
Скручиваемость, %	7,3	7,6	4,2	4,5

Волокна в полуфабрикате высокого выхода имеют большую длину и ширину, чем волокна целлюлозы. Они в большей степени изогнуты и скручены за счет механического разделения на волокна после химической обработки. При низкотемпературной щелочной обработке лигнин недостаточно деструктурируется и пластифицируется для разделения волокон. В результате в процессе размола волокна полностью не разделяются и остаются в виде тонких пучков, состоящих из нескольких волокон. Одним из параметров, характеризующих свойства волокна, является грубость. Считается, что чем длиннее волокно, тем большим значением грубости оно характеризуется [Кларк, 1983]. Также известно, что целлюлоза из недревесного сырья содержит большое количество мелочи. Мелочь может состоять из коротких паренхимных клеток, а также из обрывков волокон, образующихся в процессе различного механического воздействия. Поэтому к во-

локнистым полуфабрикатам, полученным из лужги подсолнечника, нужно применять щадящие методы размола. На рис. 1,2 представлено распределение по фракциям волокон в волокнистых полуфабрикатах.

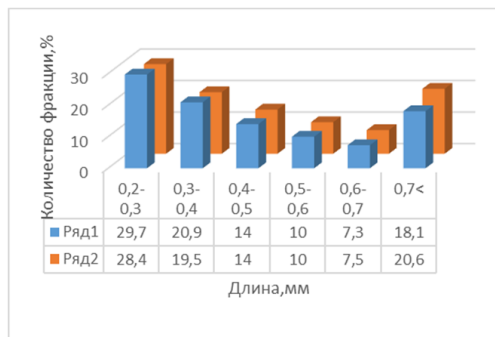


Рис. 1. Распределение по фракциям волокна варок № 5 и № 6:  
Ряд 1 – целлюлозный полуфабрикат варки № 5;  
Ряд 2 – целлюлозный полуфабрикат варки № 6

Fig. 1. Distribution of fiber fractions of cookings No. 5 and No. 6:  
Row 1 – cellulose semi-finished product of cooking No. 5;  
Row 2 – cellulose semi-finished product of cooking No. 6

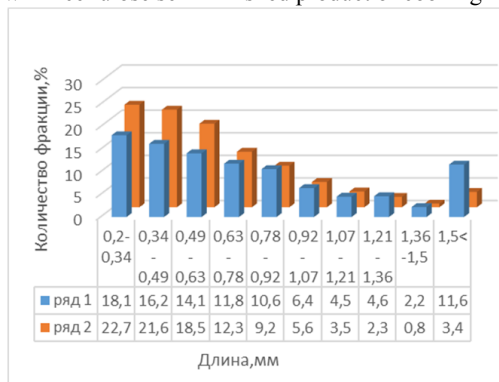


Рис. 2. Распределение по фракциям волокон высокого выхода:  
Ряд 1 – волокнистый полуфабрикат высокого выхода № 1;  
Ряд 2 – волокнистый полуфабрикат высокого выхода № 2

Fig. 2. Distribution of high-yield fiber fractions:  
Row 1 – high-yield fiber semi-finished product No. 1;  
Row 2 – high-yield fiber semi-finished product No. 2

Анализ распределения волокон по длине показывает, что в полученной целлюлозе (варки №5 и 6) содержится большое количество мелочи – 28-29% (волокна длиной 0,2-0,3 мм), не содержится волокон длиной более 0,7 мм. В волокнистом полуфабрикате высокого выхода содержится значительно меньше мелочи – 18- 23% – и 25- 40% волокон длиной от 0,7 мм до 1,5 мм.

Фотографии, полученные при микроскопическом исследовании (рис. 3), показывают, что целлюлоза (рис. 3а, б), полученная щелочно-сульфитной варкой (варка 6), хорошо разделена на волокна, также попадают небольшие сгустки волокон и много мелочи. На рис. 3с, d представлен волокнистый полуфабрикат высокого выхода (№ 1). Видны плохо разделившиеся волокна, собранные в пучки с рваными концами, что и дает при распределении по длине волокна высокую долю длинной фракции.

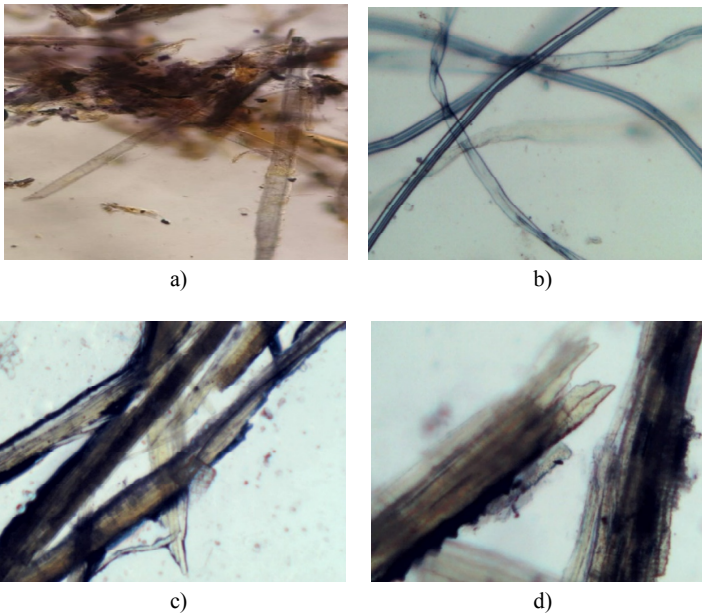


Рис. 3. Фотографии волокон (увеличение 10х и 40х) из лузги подсолнечника:  
а, б – варка № 5; с, д – полуфабрикат высокого выхода №1

Fig. 3. Photographs of fibers (magnification 10x and 40x) from sunflower husk:  
а, б – cooking No. 5; с, д – high-yield semi-finished product No. 1

*Заключение.* Исследования показали, что полученные волокнистые полуфабрикаты из лузги подсолнечника относятся к коротковолокнистым. Количество мельштофа (волокна длиной до 0,4 мм) достаточно высокое и доходит в целлюлозном волокне до 50%, в волокнистом полуфабрикате высокого выхода до 30%. Масса средневолокнистых и длиноволокнистых фракций, пригодных для производства бумаги, составляет в целлюлозном волокне около 50%, в волокнистом полуфабрикате высокого выхода до 70%, однако стоит учитывать, что в полуфабрикате высокого выхода присутствует большее количество не полностью разволокненных агрегатов. Эти полуфабрикаты можно рассматривать в качестве потенциального сырья в производстве бумаги и картона, учитывая современные достижения в технологии бумаги, с применением различных химических добавок и методов подготовки бумажной массы.

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

### **Библиографический список**

*Калашикова Л.И., Овчинникова А.А., Александрова А.В., Калашикова А.А.* Исследование технологических свойств растительных отходов как альтернативного экологического топлива // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2011. №4 (18). С. 32–34.

*Кларк Д.* Технология целлюлозы / пер. с англ. А.В. Оболенской, Г.А. Пазухой. М.: Лесная промышленность, 1983. 456 с.

*Караева Ю.В., Тимофеева С.С., Гильфанов М.Ф., Камалов Р.Ф., Марфин Е.А.* Термохимическая конверсия лузги подсолнечника // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 335-344. DOI: 10.14258/jcprm.20230211738.

Материалы из нетрадиционных видов волокон и сопутствующие продукты: технологии получения, свойства, перспективы применения: монография / под ред. А. В. Вураско. Екатеринбург: УГЛТУ, 2024. 195 с.

*Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А.* Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: ЭКОЛОГИЯ, 1991. 320 с.

*Плотников Н.П., Чельшева И.Н.* Исследование свойств теплоизоляционных материалов на основе лузги подсолнечника // Системы. Методы. Технологии. 2021. №1 (49). С. 86-89. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-1-86-89.

Подсолнечник 2024/25: рекорды, вызовы и перспективы роста // ЛИМАГРЕН. URL: <https://lgseeds.ru/blog/Podsolnechnik202425rekordyvyzovyiperspektivyrosta/> (дата обращения: 25.02.2025).

*Туцев Д.В., Куликов А.В., Просвирников Д.Б., Ахмедзянова Р.Р.* Получение целлюлозного волокна из лузги подсолнечника // Аграрный научный журнал. 2023. №6. С. 151-155. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp151-155.

Фоменко И.А., Иванова Л.А., Комбарова С.П., Бельский И.Д., Дегтярев И.А., Мижева А.А. Патент № 2762425 РФ, МПК А23К 10/18 (2016.01), А23К 10/30 (2016.01). Способ биоконверсии подсолнечной лузги в кормовой продукт с высоким содержанием белка: № 2021112214. Заявл. 28.04.2021, опублик. 21.12.2021. 4 с.

Харьков В.В., Тунцев Д.В., Кузнецов М.Г. Термохимическая переработка лузги подсолнечника // Вестник Казанского ГАУ. 2018. №4 (51). С. 130-134. DOI: 10.12737/article\_5c3de39d111083.70940804.

Хусид С.Б., Гнеуш А.Н., Нестеренко Е.Е. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок // Научный журнал КубГАУ. 2015. №107 (03). С. 1-14.

Щербакова Т.П., Казанов Р.Г., Яковлев Е.А. Патент № 2813172 РФ МПК D21Н 11/12 (2006.01) D21С 5/00 (2006.01). Волокнистый полуфабрикат из лузги подсолнечника и способ его получения: № 2023114556. Заявл. 02.06.2023, опублик. 07.02.2024. 6 с.

## References

Clark J. Cellulose Technology / transl. from English by A.V. Obolenskaya, G.A. Pazukhina. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1983. 456 p. (In Russ.)

Fomenko I.A., Ivanova L.A., Kombarova S.P., Belskiy I.D., Degtyarev I.A., Mizheva A.A. Patent No. 2762425 RF, IPC A23K 10/18 (2016.01), A 23 K 10/30 (2016.01). Method for bioconversion of sunflower husk into feed product with high protein content: No. 2021112214. Appl. 04/28/2021, publ. 12/20/2021, 4 p. (In Russ.)

Kalashnikova L.I., Ovchinnikova A.A., Aleksandrova A.V., Kalashnikova A.A. Study of technological properties of plant waste as an alternative ecological fuel. *Vector of Science of Togliatti University*, 2011, no. 4 (18), pp. 32-34. (In Russ.)

Karaeva Yu.V., Timofeeva S.S., Gilfanov M.F., Kamalov R.F., Marfin E.A. Thermochemical conversion of sunflower husks. *Khimiya rastitel'nogo syr'a*, 2023, no. 2, pp. 335-344. DOI: 10.14258/jcprn.20230211738. (In Russ.)

Kharkov V.V., Tunsev D.V., Kuznetsov M.G. Thermochemical processing of sunflower husks. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*, 2018, №4 (51), pp. 130-134. DOI: 10.12737/article\_5c3de39d111083.70940804. (In Russ.)

Khusid S.B., Gneush A.N., Nesterenko E.E. Sunflower husks as a source of functional feed additives. *KubSAU Scientific Journal*, 2015, №107 (03), pp. 1-14. (In Russ.)

Materials from non-traditional types of fibers and related products: technologies, properties, application prospects: monograph / ed. by A. V. Vurasko. Yekaterinburg: USLTU, 2024. 195 p. (In Russ.)

Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A. Laboratory works on the chemistry of wood and cellulose. Moscow: ECOLOGY, 1991. 320 p. (In Russ.)

*Plotnikov N.P., Chelysheva I.N.* Study of the properties of heat-insulating materials based on sunflower husk. *Systems. Methods. Technologies*, 2021, no. 1 (49), pp. 86-89. DOI: 10.18324/2077-5415-2021-1-86-89. (In Russ.)

*Shcherbakova T.P., Kazanov R.G., Yakovlev E.A.* Patent No. 2813172 RF IPC D21H11/12 (2006.01) D21C 5/00 (2006.01). Fibrous semi-finished product from sunflower husk and method of its production: No. 2023114556. Appl. 06/02/2023, publ. 02/02/2024, 6 p. (In Russ.)

Sunflower 2024/25: records, challenges and growth prospects. *LIMAGREEN*. URL: <https://lgseeds.ru/blog/Подсолнежник202425рекордывызоыiperspektivyrosta/> (accessed February 25, 2025). (In Russ.)

*Tuntsev D.V., Kulikov A.V., Prosvirnikov D.B., Akhmedzyanova R.R.* Producing cellulose fiber from husks sunflower. *Agrarian Scientific Journal*, 2023, no. 6, pp. 151-155. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp151-155. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 24.04.2025*

---

**Кейзер П.М., Черноус А.С., Смирнова Е.Г., Дубовый В.К.** Морфологические характеристики волокнистых полуфабрикатов из лузги подсолнечника // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 467–478.* DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.467-478

Проблема переработки отходов на маслоперерабатывающих заводах и актуальная задача поиска альтернативных источников сырья для целлюлозно-бумажной промышленности стали толчком к разработке способов получения волокнистых полуфабрикатов из лузги подсолнечника. Методом щелочно-пероксидной низкотемпературной обработки с последующим размолом получен волокнистый полуфабрикат высокого выхода (выход 82-86%), методом щелочно-сульфитной варки – целлюлоза высокого выхода (выход 56-68%). Исследование морфологических характеристик полученных волокнистых полуфабрикатов из лузги подсолнечника показало, что масса средневолокнистых и длиноволокнистых фракций, пригодных для производства бумаги, составляет в целлюлозе высокого выхода около 50%, в волокнистом полуфабрикате высокого выхода до 70%. Это позволяют рассматривать эти полуфабрикаты как потенциальное сырье в производстве бумаги и картона, учитывая современные достижения в технологии бумаги, с применением различных химических добавок и методов подготовки бумажной массы.

**Ключевые слова:** лузга подсолнечника, делигнификация, целлюлоза, длина волокна.

**Keizer P.M., Chornous A.S., Smirnova E.G., Dubovy V.K.** Morphological characteristics of fibrous semi-finished products from sunflower husk Morphological characteristics of fibrous semi-finished products from sunflower husk. *Izvestia Sankt-*

*Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 467–478 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.467-478

The problem of waste processing at oil processing plants and the urgent task of finding alternative sources of raw materials for the pulp and paper industry became the impetus for the development of methods for obtaining fibrous semi-finished products from sunflower husk. The method of alkaline-peroxide low-temperature treatment with subsequent grinding was used to obtain a fibrous semi-finished product of high yield (yield 82-86%), the method of alkaline-sulfite cooking was used to obtain cellulose of high yield (yield 56-68%). The study of the morphological characteristics of the fibrous semi-finished products obtained from sunflower husks showed that the mass of medium-fiber and long-fiber fractions suitable for paper production is about 50% in high-yield cellulose, and up to 70% in the fibrous semi-finished product of high yield. This allows us to consider these semi-finished products as potential raw materials in the production of paper and cardboard, taking into account modern achievements in paper technology, with the use of various chemical additives and methods for preparing paper pulp.

**Key words:** sunflower husk, delignification, cellulose, fiber length.

---

**КЕЙЗЕР Павел Матвеевич** – доцент кафедры технологии бумаги и картона Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 4864-8012.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kpm022@yandex.ru

**KEIZER Pavel M.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Paper and Cardboard Technology, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 4864-8012.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: kpm022@yandex.ru

**ЧОРНОУС Артем Сергеевич** – аспирант кафедры технологии бумаги и картона Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. ORCID: 0009-0001-5976-1766.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: artyom549@yandex.ru

**CHORNOUS Artem S.** – PhD student, Department of Paper and Cardboard Technology, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0009-0001-5976-1766.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: artyom549@yandex.ru

**СМИРНОВА Екатерина Григорьевна** – заведующий кафедрой технологии бумаги и картона Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, профессор, доктор технических наук. SPIN-код: 6773-5170. ORCID: 0000-0002-8482-0684.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: smirnovalta@gmail.com

**SMIRNOVA Ekaterina G.** – DSc (Technical), Head of the Department of Paper and Cardboard Technology, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Professor. SPIN-code: 6773-5170. ORCID: 0000-0002-8482-0684.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: smirnovalta@gmail.com

**ДУБОВЫЙ Владимир Климентьевич** – профессор кафедры технологии бумаги и картона Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук. ORCID: 0000-0002-2903-3872.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dubovy2004@mail.ru

**DUBOVY Vladimir K.** – DSc (Technical), Professor, Department of Paper and Cardboard Technology, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0000-0002-2903-3872.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: dubovy2004@mail.ru

**Е.А. Бобкова, О.В. Федорова, А.В. Курзин, А.Н. Евдокимов**

## **ПОЛУЧЕНИЕ СУЛЬФОНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ СУЛЬФАТНОГО ЛИГНИНА**

*Введение.* Одним из важнейших условий устойчивого развития является сохранение природных ресурсов, их осознанная переработка и потребление. Актуальные задачи современной химической технологии – создание замкнутых промышленных циклов и переквалификация отходов производства в продукты с большой добавленной стоимостью. Диверсификация производства путем расширения ассортимента не только снижает себестоимость основных продуктов, но и увеличивает экономическую эффективность.

Примером замкнутого цикла можно считать систему, в которой отходы производства становятся вторичными ресурсами для получения востребованных и ценных продуктов. Некоторые виды углеродсодержащих отходов, производимые в значительных объемах, обладают уникальными свойствами, что позволяет рассматривать их как потенциальные вторичные сырьевые ресурсы. Одним из примеров является сульфатный лигнин – крупнотоннажный побочный продукт производства целлюлозы. Модификация сульфатного лигнина и его использование в синтезе разнообразных продуктов активно развиваются с начала 2000-х гг. в процессах биорефайнинга [Jawaid et al., 2025], который можно считать аналогом глубокой нефтепереработки, создающей широкий спектр продуктов. На данный момент большая часть сульфатного лигнина используется в немодифицированном виде в качестве источника углерода для восстановления сульфата натрия в сульфид в содорегенерационном котле (СРК). Лишь незначительная доля лигнина подвергается дальнейшей химической модификации, что обусловлено его структурной многовариантностью [Цветков, Салганский, 2018; Евстигнеев и др., 2021, 2023; Glasser, 2019], хотя лигнин может быть полным или частичным заменителем фенола в формальдегидсодержащих смолах. В отличие от сульфатного лигнина спрос на лигносульфонаты в последние годы возрастает. Свойства и характеристики лигносульфонатов позволяют их использовать в разных отраслях промышленности. В последние десятилетия объем производства сульфитной целлюлозы намного меньше, чем сульфатной, соответственно, выпуск лигносульфонатов также

невелик, несмотря на то, что наблюдается рост их потребления и расширяется сфера применения [Jawaid et al., 2025].

Предложены различные пути синтетической модификации как ароматических, так и алифатических структур сульфатного лигнина с целью получения на его основе ценных и востребованных продуктов [Konduri, Fatehi, 2015; Kazzaz et al., 2019; Vidal et al., 2021]. Одним из перспективных направлений является разработка способов превращения лигнина в продукт, растворимый в воде при pH 2 и более (до pH 7). В [Kazzaz et al., 2019; Jawaid et al., 2025] собрана информация о синтезе различных производных сульфатного лигнина функционализацией ароматических и алифатических гидроксильных групп. Кроме того, подробно описано сульфометилирование сульфатного лигнина [Konduri, Fatehi, 2015; Vidal et al., 2021; Jawaid et al., 2025] под действием формальдегида в присутствии гидроксида натрия с последующим присоединением сульфита натрия, а также высокотемпературное (160 °C) сульфонирование сульфитом натрия в алильную цепь [Yang, Li, 2003] (рис. 1):

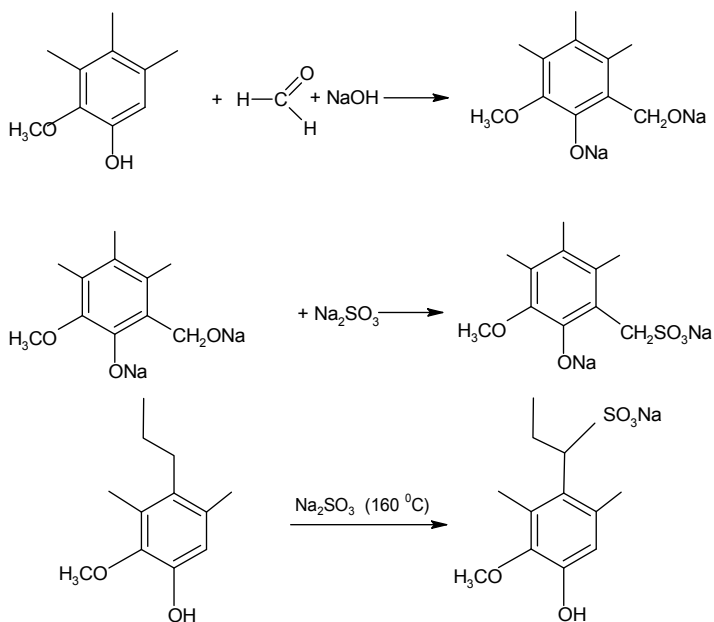


Рис. 1. Схемы сульфометилирования и сульфонирования лигнина  
 Fig. 1. Schemes of sulfomethylation and sulfonation of lignin

*Цель работы* – получение модифицированного сульфатного лигнина, растворимого в нейтральной и кислой средах, а также определение его свойств и характеристик в сравнении с показателями промышленных лигносульфонатов. Предлагаемая модификация сульфатного лигнина основывается на функционализации его групп: окислении алифатических гидроксидов, метилировании фенольных гидроксидов, присоединении гидросульфита натрия к карбонильным группам и образовании гидроксиглигносульфоновых кислот (рис. 2).

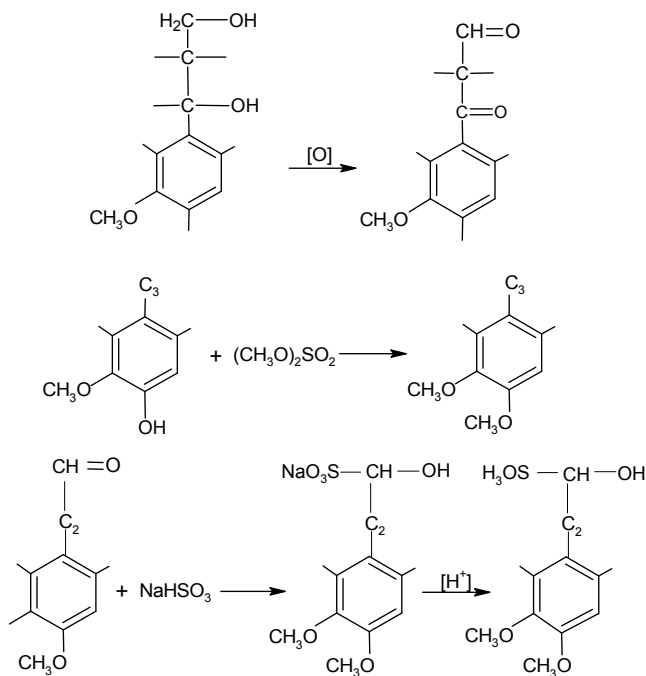


Рис. 2. Схема получения модифицированного лигнина  
 Fig. 2. Scheme for the synthesis of modified lignin

*Материалы и методика исследования.* В работе были использованы следующие реактивы и сырье:

- черный щелок после варки хвойных пород древесины сульфатным способом (ООО «РК-Гранд»). Физико-химические показатели образца черного щелока представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-химические показатели и состав образца черного щелока**  
**Physicochemical properties and composition of a sample of the black liquor**

Свойства и характеристики	Показатель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,12
Содержание сухих веществ, %	18,18
Содержание органической части сухих веществ, %	12,72
Массовая доля лигнина к щелоку, %	6,30
Массовая доля нейтральных веществ в щелоке, %	0,20
Массовая доля омыляемых кислот, %	0,25

- диметилсульфат (99,8%, ч.д.а.);
- растворы серной кислоты, пероксида водорода и гидроксида натрия готовили весовым методом, используя концентрированные растворы (92%, ч.д.а.), (37%, тех., марка А) и (45%, о.с.ч.) соответственно;

- гипохлорит натрия (19%-й раствор, тех., марка А);

- гидрокарбонат натрия (пищ.);

- сернистый ангидрид (99,98%, в баллоне);

- раствор гидросульфита натрия получали по методике [Карякин, Ангелов, 1974] насыщением раствора гидрокарбоната натрия (80 г NaHCO<sub>3</sub> в 500 мл воды) диоксидом серы до полного прекращения выделения СО<sub>2</sub>. Полученный раствор хранили в плотно закрытой емкости;

- уксусный ангидрид (99,5%, ч.д.а.);

- пиридин (99,5%, х.ч.).

Для выделения лигнина из черного щелока использовали следующую методику. Черный щелок фильтровали на фильтре Шотта. Далее 200 мл фильтрата помещали в стакан на 1 л и добавляли порциями (по 5 мл) 30 мл 83%-й серной кислоты при перемешивании, при этом наблюдали осаждение лигнина. После добавления всего количества серной кислоты и последующего перемешивания в течение 0,5 ч осадок лигнина переносили на фильтр Шотта, фильтровали и промывали водой до рН промывных вод не менее 6,5.

Метилирование лигнина осуществляли по методике [Фукс, 1936; Ефрушин, 2017; Fuchs, 1926]. К 5 г лигнина добавляли 100 мл 5%-го раствора гидроксида натрия и 30 г диметилсульфата. Реакционную массу нагревали при 60 °С с обратным холодильником в течение 1,5 ч. По окончании осадок отделяли, промывали водой (200 мл) и повторяли метилирование.

Окисление лигнина: к 5 г лигнина добавляли 100 мл 5%-го раствора гидроксида натрия и 20 мл 10%-го раствора пероксида водорода [He et al., 2017] (либо 19%-го раствора гипохлорита натрия) и полученную смесь перемешивали при 40 °С в течение 1 ч. По окончании добавляли концентрированный раствор соляной кислоты до достижения нейтральной реакции среды, далее отделяли окисленный лигнин, промывали водой на фильтре Шотта и сушили в вакууме.

Присоединение гидросульфита натрия к сульфатному лигнину: 2 г лигнина смешивали с 50 мл свежеприготовленного раствора гидросульфита натрия и перемешивали в течение трех часов при температуре 40 °С. Для получения кислотных лигносульфоновых структур соответствующую натриевую соль подкисляли 5%-м раствором серной кислоты при перемешивании в течение 0,5 ч при 25 °С.

Для определения содержания в образцах лигнина:

- для гидроксильных групп применяли методику с использованием ацетилирующей смеси, состоящей из уксусного ангидрида и пиридина [Рафиков и др., 1963];
- для углеводов – альдитол-ацетатный метод [Курзин, 1998; Sjöström et al., 1966];
- для метоксильных групп – реакцию Цейзеля [Закис, 1987; Курзин, 1998];
- для карбонильных групп – реакцию оксимирования [Роговин, 1972];
- для фенольных гидроксидов – потенциметрическое титрование [Попова, Наумова, 1977];
- для алифатических гидроксидов использовали разницу между общей концентрацией гидроксильных групп и содержанием фенольных гидроксидов.

*Результаты исследования.* В основе получения растворимого сульфатного лигнина в кислой и нейтральной средах лежит следующая синтетическая схема:

1. Окисление алифатических гидроксидов;
2. Метилирование фенольных гидроксидов диметилсульфатом;
3. Присоединение гидросульфита натрия по карбонильным группам с образованием  $\alpha$ -гидроксилгносульфонатов натрия;
4. Обработка натриевой соли гидроксилгносульфоновых кислот разбавленным раствором серной кислоты.

Важнейшим критерием модификации сульфатного лигнина в данном случае является наличие гидроксильных и карбонильных групп. В образце

лигнина, выделенного из черного щелока, были определены (либо вычислены) концентрации гидроксильных групп (общее содержание, а также фенольных и алифатических гидроксидов), углеводов, карбонильных групп и стильбеновых структур. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристики хвойного сульфатного лигнина**

**Characteristics of coniferous sulfate lignin**

Показатель	Значение
Фенольные ОН-группы	8%
Алифатические ОН-группы	2%
Карбонильные группы	1,0/100 ФПЕ
Углеводы	1,98%
Стильбеновые структуры	2,3/100 ФПЕ

Общее содержание гидроксидов в сульфатном лигнине соответствует опубликованным данным [Сыпалова и др., 2023]. Низкое содержание углеводов в образце лигнина объясняется, в том числе, действием концентрированной серной кислоты в процессе его выделения из черного щелока, а также эффективной фильтрацией остаточных целлюлозных волокон из черного щелока.

Поскольку хвойный лигнин содержит стильбеновые структуры [Constant et al., 2016], то гидратация в кислой среде должна увеличить концентрацию алифатических гидроксидов (рис. 3):

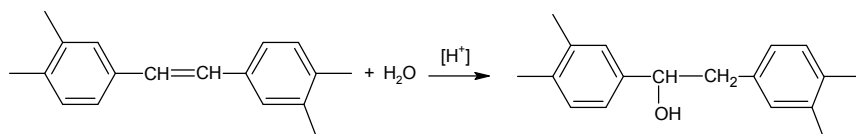


Рис. 3. Кислотная гидратация двойных связей в стильбеновых структурах лигнина  
 Fig. 3. Acid hydration of double bonds of stilbene structures of lignin

При этом гидратация двойных связей возможна при выделении лигнина из черного щелока. Нами установлено незначительное увеличение концентрации алифатических гидроксильных групп в лигнине после обработки 5%-м раствором серной кислоты в течение 4 ч.

Поскольку первая стадия модификации сульфатного лигнина подразумевала окисление гидроксильных групп, в качестве окислителей были выбраны 10%-й раствор пероксида водорода и 19%-й раствор гипохлорита натрия

[Липин, 2012; He et al., 2017]. Окисление способствовало уменьшению, прежде всего, алифатических гидроксильных групп с образованием карбонильных (кетонных и альдегидных) групп. При этом мы установили незначительное уменьшение концентрации фенольных гидроксилы (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание гидроксильных групп в образцах окисленного лигнина**

**The content of hydroxyl groups in the samples of oxidized lignin**

Окислитель	Содержание гидроксильных групп, %	
10% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	фенольные	7,1
	алифатические	0,4
19% NaClO	фенольные	7,7
	алифатические	0,3

Известно, что взаимодействие карбонильных соединений с избытком раствора гидросульфита натрия приводит к образованию соответствующих гидроксисульфонов натрия [Петров и др., 2012]. Синтезированную водорастворимую натриевую соль модифицированного лигнина разлагали раствором серной кислоты с получением соответствующей лигногидроксисульфоновой кислоты. Для сравнения приведем структуру лигносульфонат-аниона [Шахова и др., 2014], получаемого при сульфитной варке целлюлозы (рис. 4).

В табл. 4 приведено сравнение характеристик образца промышленно производимого лигносульфоната (АО «Сясьский ЦБК») с модифицированным сульфатным лигнином.

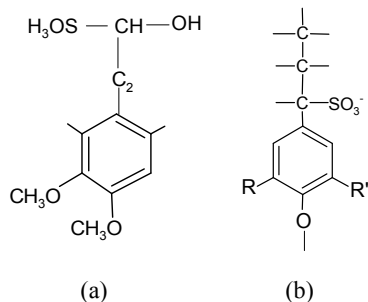


Рис. 4. Структурные формулы: (а) модифицированного сульфатного лигнина; (б) лигносульфоната

Fig. 4. Structural formulas of: (a) modified sulfate lignin; (b) lignosulfonate

Таблица 4

## Физико-технические показатели лигнинов

## Physico-technical properties of lignins

Показатель	Жидкие лигносульфонаты	Раствор модифицированного сульфатного лигнина
Внешний вид, цвет	Вязкая жидкость темно-коричневого цвета	Вязкая жидкость светло-желтого цвета
Массовая доля сухих веществ, %	не менее 50	51
Массовая доля золы к массе сухих веществ, % не более	27	21
рН, не менее	4,5	5,0
Массовая доля редуцирующих веществ к массе сухих веществ, % не более	15	1
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не менее	1280	1270

Как видно из данных табл. 4, модифицированный сульфатный лигнин по своим физико-техническим характеристикам близок к лигносульфонатам.

В настоящее время одной из важнейших областей применения лигносульфонатов является строительная промышленность, в которой они используются как пластификаторы для улучшения текучести бетонных смесей. Известно [Пицхелаури, 1999], что редуцирующие вещества в составе лигносульфонатов оказывают отрицательное влияние на свойства бетонных композиций, при этом очищенные от углеводов и других редуцирующих веществ лигносульфонаты повышают пластифицирующий эффект и ускоряют гидратацию цемента. На основании данных о концентрации редуцирующих веществ в модифицированном сульфатном лигнине можно предположить, что он может быть использован в качестве пластификатора в производстве цемента и бетона.

*Заключение.* Результаты проведенного исследования свидетельствуют о возможности получения растворимого в кислой и нейтральной средах модифицированного сульфатного лигнина. Предложенная методика модификации хвойного сульфатного лигнина, включающая в себя стадии окисления гидроксильных групп до карбонильных растворами пероксида водорода или гипохлорита натрия, метилирования остаточных фенольных гидроксидов диметилсульфатом и присоединения гидросульфита натрия, позволила по-

лучить водорастворимый лигнин, раствор которого по своим свойствам и характеристикам максимально близок к промышленным образцам жидких лигносульфонатов с низким содержанием редуцирующих веществ.

*Вклад авторов.* Все авторы внесли равный вклад в создание статьи.

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

### Библиографический список

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.

Евстигнеев Э.И., Закусило Д.Н., Рябухин Д.С., Васильев А.В. Последние достижения в химии лигнинов: фундаментальные исследования и практическое применение // Успехи химии. 2023. Т. 92, №8. Ст. RCR5082. DOI: 10.59761/RCR5082.

Ефрюшин Д.Д. Ацилирование технических лигнинов карбоновыми кислотами (синтез, свойства, применение): дис. ... канд. хим. наук. Барнаул, 2017. 144 с.

Закас Г.Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производных. Рига: Зинатне, 1987. 230 с.

Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества: руководство по приготовлению неорганических реактивов и препаратов в лабораторных условиях. М.: Химия, 1974. 406 с.

Курзин А.В. Роль фенольных гидроксильных групп в процессах активации лигнина хвойных пород древесины: дис. ... канд. хим. наук. СПб., 1998. 172 с.

Литин И.В. Кинетика гипохлоритного окисления остаточного лигнина // ИВУЗ. Лесной журнал. 2012. №1. С. 103-106.

Петров А.А., Бальян Х.В., Троценко А.Т. Органическая химия: учебник для студентов химико-технологических вузов и факультетов; под ред. проф. М.Д. Стадничука. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2012. 621 с.

Пицхелаури К.Г. Бетон с модифицированной лигносульфонатной добавкой: дис. ... канд. техн. наук. М., 1998. 107 с.

Попова Г.И., Наумова Л.А. Определение фенольных гидроксидов в препаратах лигнина, выделенных из продуктов совместной поликонденсации фенола, формальдегида и древесины // Технология древесных плит и пластиков: межвуз. сб. 1977. Вып. IV. С. 60–65.

Рафиков С.Р., Павлова С.А., Твердохлебова И.И. Методы определения молекулярных весов и полидисперсности высокомолекулярных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 335 с.

Роговин З.А. Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972. 519 с.

Сыпалова Ю.А., Шестаков С.Л., Кожевников А.Ю. Функциональный состав и структурные особенности лигнинов высших растений // ИВУЗ. Лесной журнал. 2023. №5. С. 164–183. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-164-183.

Фукс В. Химия лигнина / пер. А.С. Бирилло, С.И. Богданова, В.А. Грабовского, М.Ф. Мартынова; под ред. Л.Е. Акима. Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1936. 368 с.

Цветков М.В., Салганский Е.А. Лигнин: направления использования и способы утилизации (обзор) // Журнал прикладной химии. 2018. Т. 91, №7. С. 988–997. DOI: 10.1134/S0044461818070095.

Шахова Л.Д., Черкасов Р.А., Березина Н.М., Манелюк Д.Б. Классификации технологических добавок при помолле цемента // Фундаментальные исследования. 2014. №12-2. С. 295–299.

Constant S., Wienk H., Frissen A.E., de Peinder P., Boelens R., van Es D.S., Grisel R.J.H., Weckhuysen B.M., Huijgen W.J.J., Gosselink R.J.A., Bruijninx P.C.A. New insights into the structure and composition of technical lignins: a comparative characterisation study // Green Chemistry. 2016. Vol. 18, no. 9. P. 2651–2665. DOI: 10.1039/C5GC03043A.

Fuchs W. Die Chemie des Lignins. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1926. 328 s. DOI: 10.1007/978-3-642-91583-3.

Glasser W.G. About making lignin great again – some lessons from the past // Frontiers in Chemistry. 2019. Vol. 7. Art. no. 565. DOI: 10.3389/fchem.2019.00565.

He W., Gao W., Fatehi P. Oxidation of kraft lignin with hydrogen peroxide and its application as a dispersant for kaolin suspensions // ACS Sustainable Chemistry and Engineering. 2019. Vol. 5, no. 11. P. 10597–10605. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b02582.

Jawaid M., Ahmad A., Meraj A. Handbook of lignin. Singapore: Springer, 2025. 1470 p. DOI: 10.1007/978-981-97-2664-6.

Kazzaz A.E., Feizi Z.H., Fatehi P. Grafting strategies for hydroxy groups of lignin for packaging materials // Green Chemistry. 2019. Vol. 21, no. 21. P. 5714–5752. DOI: 10.1039/c9gc02598g.

Konduri M.K.R., Fatehi P. Production of water-soluble hardwood kraft lignin via sulfomethylation using formaldehyde and sodium sulfite // ACS Sustainable Chemistry and Engineering. 2015. Vol. 3, no. 6. P. 1172–1182. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b00098.

Sjöström E., Haglund P., Janson J. Determination of Carbohydrates in Cellulosic Materials by Gas-Liquid Chromatography // Svensk Papperstidning. 1966. Vol. 69, no. 11. P. 381–385.

Vidal C., Carrillo-Varela I., Reyes-Contreras P., Gutierrez L., Mendonca R.T. Sulfomethylation of radiata pine kraft lignin and its use as a molybdenite depressant in selective chalcopryrite-molybdenite separation by flotation // Bioresources. 2021. Vol. 16, no. 3. P. 5646–5666. DOI: 10.15376/biores.16.3.5646-5666.

Yang Y., Li Z. Study on preparation of dye dispersant by modified craft lignin // Chemistry and Industry of Forest Products (Linchan Huaxue Yu Gongye). 2003. Vol. 23, no. 4. P. 31–36. (In Chin.)

## References

Constant S., Wienk H., Frissen A.E., de Peinder P., Boelens R., van Es D.S., Grisel R.J.H., Weckhuysen B.M., Huijgen W.J.J., Gosselink R.J.A., Bruijninx P.C.A.

New insights into the structure and composition of technical lignins: a comparative characterisation study. *Green Chemistry*, 2016, vol. 18, no. 9, pp. 2651–2665. DOI: 10.1039/C5GC03043A.

*Efryushin D.D.* Acylation of technical lignins by carbonic acids (synthesis, properties, application). Diss. ... Cand. Chem. Sci. Barnaul, 2017. 144 p. (In Russ.)

*Evstigneyev E.I., Grinenko E.V., Vasilyev A.V.* Obtaining hydrogels of technical lignins. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2021, iss. 235, pp. 270–291. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.270-291. (In Russ.)

*Evstigneyev E.I., Zakusilo D.N., Ryabukhin D.S., Vasilyev A.V.* Recent advances in lignins: fundamentals and applications. *Russian Chemical Reviews*, 2023, vol. 92, no. 8, art. no. RCR5082. DOI: 10.59761/RCR5082. (In Russ.)

*Fuchs W.* Die Chemie des Lignins. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1926. 328 s. DOI: 10.1007/978-3-642-91583-3.

*Glasser W.G.* About making lignin great again – some lessons from the past. *Frontiers in Chemistry*, 2019, vol. 7, art. no. 565. DOI: 10.3389/fchem.2019.00565.

*He W., Gao W., Fatehi P.* Oxidation of kraft lignin with hydrogen peroxide and its application as a dispersant for kaolin suspensions. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2019, vol. 5, no. 11, pp. 10597–10605. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b02582.

*Jawaid M., Ahmad A., Meraj A.* Handbook of lignin. Singapore: Springer, 2025. 1470 p. DOI: 10.1007/978-981-97-2664-6.

*Karyakin Yu.V., Angelov I.I.* Pure chemicals: guidelines for the preparation of inorganic reagents and preparations in laboratory conditions. Moscow: Khimiya, 1974. 406 p. (In Russ.)

*Kazzaz A.E., Feizi Z.H., Fatehi P.* Grafting strategies for hydroxy groups of lignin for producing materials. *Green Chemistry*, 2019, vol. 21, no. 21, pp. 5714–5752. DOI: 10.1039/c9gc02598g.

*Konduri M.K.R., Fatehi P.* Production of water-soluble hardwood kraft lignin via sulfomethylation using formaldehyde and sodium sulfite. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2015, vol. 3, no. 6, pp. 1172–1182. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b00098.

*Kurzin A.V.* The role of phenolic hydroxyl groups in the activation processes of lignin for coniferous wood species. Diss. ... Cand. Chem. Sci. St. Petersburg, 1998. 172 p. (In Russ.)

*Lipin I.V.* Kinetics of hypochlorite oxidation of residual lignin. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 103–106. (In Russ.)

*Petrov A.A., Balyan K.V., Troshchenko A.T.* Organic chemistry: textbook for students of chemical technology universities and faculties / ed. by prof. M.D. Stadnichuk. 5<sup>th</sup> ed., rev. and add. Moscow: AlyanS, 2012. 621 p. (In Russ.)

*Pitskhelauri K.G.* Concrete with a modified lignosulfonate additive. Diss. ... Cand. Tech. Sci. Moscow, 1998. 107 p. (In Russ.)

*Popova G.I., Naumova L.A.* Determination of phenolic hydroxyls in lignin preparations isolated from products of combined polycondensation of phenol,

formaldehyde and wood. *Technology of wood panels and plastics: interuniversity collection*, 1977, iss. IV, pp. 60–65. (In Russ.)

Rafikov S.R., Pavlova S.A., Tverdokhlebova I.I. Methods for determination of molecular weights and polydispersity of high-molecular compounds. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1963. 335 p. (In Russ.)

Rogovin Z.A. Chemistry of cellulose. Moscow: Khimiya, 1972. 519 p. (In Russ.)

Sjöström E., Haglund P., Janson J. Determination of Carbohydrates in Cellulosic Materials by Gas-Liquid Chromatography. *Svensk Papperstidning*, 1966, vol. 69, no. 11, pp. 381–385.

Shakhova L.D., Cherkasov R.A., Berezina N.M., Manelyuk D.B. Classification of technological additives in cement grinding. *Fundamental Research*, 2014, no. 12-2, pp. 295–299. (In Russ.)

Sypalova Yu.A., Shestakov S.L., Kozhevnikov A.Yu. Functional composition and structural features of lignins of higher plants. *IVUZ. Lesnoy Zhurnal*, 2023, no. 5, pp. 164–183. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-164-183. (In Russ.)

Tsvetkov M.V., Salganskiy E.A. Lignin: applications and ways of utilization (review). *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2018, vol. 91, no. 7, pp. 1129–1136. DOI: 10.1134/S1070427218070108. (In Russ.)

Vidal C., Carrillo-Varela I., Reyes-Contreras P., Gutierrez L., Mendonca R.T. Sulfomethylation of radiata pine kraft lignin and its use as a molybdenite depressant in selective chalcopyrite-molybdenite separation by flotation. *Bioresources*, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 5646–5666. DOI: 10.15376/biores.16.3.5646-5666.

Yang Y., Li Z. Study on preparation of dye dispersant by modified craft lignin. *Chemistry and Industry of Forest Products (Linchan Huaxue Yu Gongye)*, 2003, vol. 23, no. 4, pp. 31–36. (In Chin.)

Zakis G.F. The functional analysis of lignins and their derivatives. Riga: Zinātne, 1987. 230 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 28.11.2025*

---

**Бобкова Е.А., Федорова О.В., Курзин А.В., Евдокимов А.Н.** Получение сульфоновых производных сульфатного лигнина // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 479–493.* DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.479-493

Сульфатный лигнин, являясь крупнотоннажным побочным продуктом в производстве целлюлозы, в основном применяется в сордерегенерационном котле в процессе получения сульфида натрия, и лишь его небольшая часть, из-за его сложной структуры, используется в химически модифицированном виде. Тем не менее сульфатный лигнин обладает потенциалом для синтеза востребованных продуктов с большой добавленной стоимостью. В отличие от сульфатного лигнина лигносульфонаты, благодаря своим индивидуальным физико-

химическим свойствам, пользуются стабильным спросом за счет применения в различных отраслях промышленности. Однако производство сульфитной целлюлозы, по сравнению с сульфатной, несоизмеримо меньше, и, как следствие, общее количество товарных лигносульфонатов не удовлетворяет потребности рынка. Таким образом, наблюдается неоднозначная ситуация – недоиспользование потенциала сульфатного лигнина в синтезе продуктов, обладающих аналогичными свойствами лигносульфонатов, на фоне увеличения потребности в лигносульфонатах. В работе показана возможность модификации сульфатного лигнина. Метод функционализации структуры хвойного сульфатного лигнина, включающий окисление перекисью водорода или гипохлоритом натрия гидроксильных групп и их метилирование диметилсульфатом с последующим присоединением гидросульфита натрия к образовавшимся карбонильным группам, позволил получить продукт, растворимый в кислой и нейтральной средах. Полученный растворимый лигнин по своим физико-химическим параметрам практически идентичен промышленным жидким лигносульфонатам, что делает его перспективным для использования в аналогичных технологических процессах.

Ключевые слова: модифицированный сульфатный лигнин, метилирование, окисление, гидроксисульфонаты лигнина.

**Bobkova E.A., Fedorova O.V., Kurzin A.V., Evdokimov A.N.** Preparation of Sulfonic Derivatives of Sulfate Lignin. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 479–493 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.479-493

Sulfate lignin is a large-tonnage by-product in the pulp production. It's mainly used in black liquor recovery boiler in the production of sodium sulfide, and only a small part of it, due to its complex structure, is used in a chemically modified form. Nevertheless, sulfate lignin has the potential to synthesize sought after products with high added value. Unlike sulfate lignin, lignosulfonates, due to their individual physics-chemical properties, are in stable demand due to their use in various industries. However, the production of sulfite cellulose is disproportionately lower than that of sulfate cellulose, and as a result, the total number of commercial lignosulphons does not meet the needs of the market. Thus, there is an ambiguous situation – the underutilization of the potential of sulfate lignin in the synthesis of products with similar properties of lignosulfonates, against the background of an increased demand for lignosulfonates. The study shows the possibility of modifying sulfate lignin. The method of functionalization of the coniferous sulfate lignin structure, including the oxidation of hydroxyl groups with hydrogen peroxide or sodium hypochlorite, and their methylation with dimethyl sulfate, followed by the addition of sodium hydrosulfite to the formed carbonyl groups, made it possible to obtain a product soluble in acidic and neutral media. The obtained soluble lignin is

almost identical in its physics-chemical properties to industrial liquid lignosulfonates, which makes it promising for use in similar technological processes.

**Key words:** modified sulfate lignin, methylation, oxidation, lignin hydroxysulfonates.

---

**БОБКОВА Екатерина Алексеевна** – преподаватель кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. SPIN-код: 4294-9230. ORCID: 0009-0000-1993-9569.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, E-mail: kabobkova@yandex.ru

**BOBKOVA Ekaterina A.** – Lecturer, Department of Cellulose and Composite Materials Technology, Higher School of Technology and Energetics, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 4294-9230. ORCID: 0009-0000-1993-9569.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: kabobkova@yandex.ru

**ФЕДОРОВА Олеся Вячеславовна** – доцент кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 9073-2739. ORCID: 0000-0002-3785-4371. Scopus AuthorID: 57190619665.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: odo.gturp@mail.ru

**FEDOROVA Olesya V.** – PhD (Technical), Associate Professor, Department of Cellulose and Composite Materials, Higher School of Technology and Energetics, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 9073-2739. ORCID: 0000-0002-3785-4371. Scopus AuthorID: 57190619665.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: odo.gturp@mail.ru

**КУРЗИН Александр Вячеславович** – доцент кафедры органической химии Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат химических наук. SPIN-код: 7352-3280. 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), Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Higher School of Technology and Energetics, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 7352-3280. ORCID: 0000-0001-6108-041X. Scopus AuthorID: 6602875595.

198095, Ivana Chernykh str. 4, St. Petersburg, Russia. E-mail: zakora@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, Associate 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

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	5
<b>1. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО</b>	
<b>Тихонов С.В., Горшков В.В., Капица Е.А., Хомяков Ю.В., Вертебный В.Е., Шорохова Е.В.</b> Фракционный состав древесного опада и содержание углерода в нем в ельниках природного парка «Вепский лес» .....	6
<b>Шишлянникова А.Б., Герасимова Т.А., Данилов Д.А., Демчук А.С., Ковальшук В.Ю., Фирсов Г.А., Хмарик А.Г., Шкурников Е.Д., Яковлев А.А., Змитрович И.В.</b> Популяция дуба черешчатого ( <i>Quercus robur</i> ) в расширении поймы реки Луги (Лужский район Ленинградской области): дендрологическая, фитопатологическая, почвенно-экологическая характеристика .....	29
<b>Тебякина А.А., Изотова Т.В.</b> Анализ потенциальной рекреационной нагрузки на ООПТ Москвы .....	52
<b>Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А., Макаров С.С., Страздаускас С.Е.</b> Применение экологически безопасных препаратов для стимуляции роста и развития семян <i>Pinus sylvestris</i> L. ....	64
<b>Демаков Ю.П., Романов Е.М., Денисов С.А., Краснов В.Г., Черных Л.В.</b> Проблемы воспроизводства ельников в Приволжском Федеральном округе .....	84
<b>Сафроничева Е.Д., Каржаев Д.С., Волков В.А., Тис М.В., Шаршавикова В.В., Ветчинникова Л.В., Потокина Е.К., Жигунов А.В.</b> Диагностика одно- и двухлетних семян карельской березы с помощью молекулярного маркера ВрСW1, коррелирующего с признаком «узорчатая древесина» .....	107
<b>Пожарская О.Д., Хомяков Ю.В., Данилова Т.Н., Кляус К.М.</b> Изменение биологической активности почв при внесении в них суперабсорбирующих полимеров .....	126
<b>Неверов Н.А., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Тюкавина О.Н.</b> Состав и производительность лесов в тектонических узлах в Архангельской области .....	140
<b>Азарова О.В., Шлапакова С.Н., Маштаков Д.А., Терешкин А.В., Азаров А.С., Корякина О.В., Демидова А.П.</b> Оценка перспективности использования топиарных форм хвойных растений в условиях города Саратова .....	153
<b>Наконечная Т.С., Славский В.А.</b> Выделение и отбор ценных форм лещины обыкновенной ( <i>Corylus avellana</i> L.) в Воронежской области .....	166

<i>Базаев А.Б., Грязькин А.В., Хетагуров Х.М., Николаев И.А.</i> Тис ягодный и клён высокогорный на северном макросклоне Кавказа .....	182
<i>Серебряков О.В., Прохорова Н.Л., Харченко Н.Н.</i> Отклик биоты на изменения климатических факторов на примере феноритмов березы ( <i>Betula L.</i> ), произрастающей в лесных массивах Воронежской области .....	203
<i>Смолякова А.А., Кукавская Е.А., Буряк Л.В., Жила С.В.</i> Вклад подроста в формирование комплексов горючих материалов и эмиссию углерода при пожарах в минусинских ленточных борах Красноярского края .....	217
<i>Сафроничева Е.Д., Григорьев М.А., Каржаев Д.С., Шаршавикова В.В., Тис М.В., Павлов Н.А., Волков В.А.</i> Разработка молекулярно-генетических маркеров генов, вовлеченных в формирование адаптивной реакции у сосны .....	238
<b>2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК</b>	
<i>Изотти М.М., Андронов А.В., Хитров Е.Г., Горюнов Н.Д., Трифонов Н.И.</i> Разработка и исследование математической модели взаимодействия пневмокаткового движителя с почвогрунтом .....	255
<i>Степанов А.В., Емельянова Е.Г., Сюнёв В.С.</i> Техничко-экономическое обоснование целесообразности применения пгс в дорожной одежде при транспортном освоении лесосырьевой базы севера Республики Карелия .....	274
<i>Митченко А.П.</i> Способ измерения ширины штабеля круглых лесоматериалов, уложенного между стойками .....	291
<i>Трубников В.В., Марков В.А., Трофимов А.В., Зверев И.А.</i> Проблема коррозионной стойкости элементов конструкции лесных машин в отраслевом машиностроении .....	306
<i>Соколов А.П.</i> Анализ вариантов организации снабжения сырьем вновь создаваемого предприятия по переработке низкотоварной лиственной древесины .....	323
<i>Рукомойников К.П., Царев Е.М., Мохирев А.П., Волдаев М.Н.</i> Перспективные направления моделирования структуры внутрирегиональных и межрегиональных лесотранспортных потоков в условиях санкционного давления Запада .....	338
<i>Дручинин Д.Ю., Дорняк О.Р., Воскобойник М.Ю.</i> Методика определения силовых характеристик копания почвы рабочим органом выкопчного оборудования при заготовке крупномерного посадочного материала .....	352
<i>Беспалов Р.С., Угрюмов С.А.</i> Применение графоаналитического метода для оптимизации работы форвардера при проведении сплошных лесосечных рубок .....	369

**Королько Н.С., Свойкин Ф.В., Королько А.С., Россихин К.В., Игнатова Е.И., Фролов И.С., Леонова О.Н., Божбов В.Е.** Преодоление подъема моделью автономной шарнирно-сочленённой трелёвочной каретки ..... 381

**Шадрин Р.А.** Технологические аспекты мероприятий по сохранению биоразнообразия при проведении лесосечных работ, содержащихся в лесохозяйственных регламентах лесничеств Северо-Запада Российской Федерации ..... 393

### **3. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ**

**Вураско А.В., Шерстобитов А.Л., Губанов И.А., Сиваков В.П.** Получение волокнистых материалов комбинированной варкой отходов переработки конопли технической ..... 413

**Акулов М., Спицын А.А., Жуков В.А., Молчанова Н.А.** Совместный пиролиз биомассы с техническим глицерином ..... 427

**Сафин Р.Г., Валеев К.В., Степанова Т.О.** Обзор исследований по извлечению пектина и побочных продуктов из недревесных частей хвойных пород ..... 444

**Кейзер П.М., Черноус А.С., Смирнова Е.Г., Дубовый В.К.** Морфологические характеристики волокнистых полуфабрикатов из лузги подсолнечника ..... 467

**Бобкова Е.А., Федорова О.В., Курзин А.В., Евдокимов А.Н.** Получение сульфоновых производных сульфатного лигнина ..... 479

## CONTENTS

---

Preface .....	5
<b>1. FORESTRY</b>	
<b>Tikhonov S.V., Gorshkov V.V., Kapitsa E.A., Khomyakov Yu.V., Vertebny V.E., Shorokhova E.V.</b> Fractional composition of tree litterfall and its carbon content in spruce forests in the Vepssky Forest Nature Reserve .....	6
<b>Shishlyannikova A.B., Gerasimova T.A., Danilov D.A., Demchuk A.S., Kovalyshkin V.Yu., Firsov G.A., Khmarik A.G., Shkurenkov E.D., Yakovlev A.A., Zmitrovich I.V.</b> Population of common oak ( <i>Quercus robur</i> ) in the widening of the Luga River floodplain (Luzhsky district of the Leningrad region): dendrological, phytopathological, soil-ecological characteristics .....	29
<b>Tebiakina A.A., Izotova T.V.</b> Analysis of potential recreational load on Moscow's specially protected natural areas .....	52
<b>Sungurova N.R., Drochkova A.A., Makarov S.S., Strazdauskas S.E.</b> The use of environmentally friendly preparations to stimulate the growth and development of <i>Pinus sylvestris</i> L. seedlings .....	64
<b>Demakov Iu.P., Romanov E.M., Denisov S.A., Krasnov V.G., Chernykh L.V.</b> Current problems of spruce stands regeneration in the Volga Federal District .....	84
<b>Safronycheva E.D., Karzhaev D.S., Volkov V.A., Tis M.V., Sharshavikova V.V., Vetchinnikova L.V., Potokina E.K., Zhigunov A.V.</b> Diagnostics of one- and two-year-old seedlings of curly birch using the molecular marker BPCW1, which correlates with the "patterned wood" trait .....	107
<b>Pozharskaya O.D., Khomyakov Yu.V., Danilova T.N., Klyaus K.M.</b> Changes in the biological activity of soils when adding superabsorbing polymers to them .....	126
<b>Neverov N.A., Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Tyukavina O.N.</b> Composition and productivity of forests in tectonic nodes in the Arkhangelsk region .....	140
<b>Azarova O.V., Shlapakova S.N., Mashtakov D.A., Tereshkin A.V., Azarov A.S., Koryakina O.V., Demidova A.P.</b> Assessment of the prospects of using topiary forms of coniferous plants in the conditions of the city of Saratov .....	153
<b>Nakonechnaya T.S., Slavskiy V.A.</b> Isolation and selection of valuable forms of common hazel ( <i>Corylus avellana</i> L.) in the Voronezh region .....	166
<b>Bazaev A.B., Gryazkin A.V., Khetagurov Kh.M., Nikolaev I.A.</b> <i>Taxus baccata</i> L. and <i>Acer trautvetteri</i> Medw. on the northern macroslope of the Caucasus .....	182
	497

<i>Serebryakov O.V., Prokhorova N.L., Kharchenko N.N.</i> The response of biota to changes in climatic factors using the example of birch ( <i>Betula L.</i> ) phenorhythms growing in the forests of the Voronezh region .....	203
<i>Smolyakova A.A., Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Zhila S.V.</i> Contribution of Tree Regeneration to the Formation of Fuel Complexes and Carbon Emissions from Fires in the Minusinsk Ribbon-like Pine Forests of the Krasnoyarsk krai .....	217
<i>Safronycheva E.D., Grigoryev M.A., Karzhaev D.S., Sharshavikova V.V., Tis M.V., Pavlov N.A., Volkov V.A.</i> Development of molecular genetic markers of genes encoding adaptive response methods in pine .....	238
<b>2. TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF LOGGING INDUSTRIES</b>	
<i>Igotti M.M., Andronov A.V., Khitrov E.G., Goryunov N.D., Trifonov N.I.</i> Development and study of mathematical model of pneumatic vehicle of a lower pressure and soil interaction .....	255
<i>Stepanov A.V., Emelyanova E.G., Syunev V.S.</i> Feasibility study of the feasibility of using sand and gravel mixture in road surfaces during transport development of the timber resource base in the north of the Republic of Karelia .....	274
<i>Mitchenko A.P.</i> Method for measuring the width of a stack of round timber placed between stakes .....	291
<i>Trubnikov V.V., Markov V.A., Trofimov A.V., Zverev I.A.</i> The problem of corrosion resistance of structural elements of forestry machines in industrial mechanical engineering .....	306
<i>Sokolov A.P.</i> Analysis of raw materials supply options for the newly established enterprise for low-grade hardwood processing .....	323
<i>Rukomoynikov K.P., Tsarev E.M., Mokhirev A.P., Voldaev M.N.</i> Promising areas of modeling the structure of intraregional and interregional timber transportation flows in the context of Western sanctions pressure .....	338
<i>Druchinin D.Yu., Dornyak O.R., Voskoboynik M.Yu.</i> Methodology for determining the power characteristics of digging on-site using organic digging equipment during the preparation of large-sized planting material .....	352
<i>Bespalov R.S., Ugryumov S.A.</i> Application of the graph-analytical method to optimize the operation of a forwarder during clear-cutting logging .....	369
<i>Korolko N.S., Svoykin F.V., Korolko A.S., Rossikhin K.V., Ignatova E.I., Frolov I.S., Leonova O.N., Bozhbov V.E.</i> Overcoming a slope with a model of an autonomous articulated skidder .....	381
<i>Shadrin R.A.</i> Technological aspects of biodiversity conservation measures during logging operations contained in the forestry regulations of the forestry districts of the North-West of the Russian Federation .....	393

---

### 3. CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD. BIO TECHNOLOGY

<i>Vurasko A.V., Sherstobitov A.L., Gubanov I.A., Sivakov V.P.</i> Production of fibrous materials by combined cooking of technical hemp processing waste ....	413
<i>Akulov M., Spitsyn A.A., Zhukov V.A., Molchanova N.A.</i> Co-pyrolysis of biomass with technical glycerin .....	427
<i>Safin R.G., Valeev K.V., Stepanova T.O.</i> Review of studies on the extraction of pectin and by-products from non-wood parts of coniferous trees .....	444
<i>Keizer P.M., Chornous A.S., Smirnova E.G., Dubovy V.K.</i> Morphological characteristics of fibrous semi-finished products from sunflower husk Morphological characteristics of fibrous semi-finished products from sunflower husk .....	467
<i>Bobkova E.A., Fedorova O.V., Kurzin A.V., Evdokimov A.N.</i> Preparation of Sulfonic Derivatives of Sulfate Lignin .....	479

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ  
АКАДЕМИИ

Выпуск 257

*Издаются с 1886 года*

*Редактор В.Н. Добронравина*

*Компьютерная верстка Е.А. Корнуковой*

---

Подписано в печать с оригинал-макета 20.03.2026. Выход в свет 22.04.2026. Формат 150\*210.  
Печать цифровая. Уч.-изд. л. 31.25. Печ. л. 31,25. Тираж 500 экз. Заказ № 122 С 234 Свободная цена

---

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С.М. Кирова

Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ  
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, литер У