

**ЛЕСА РОССИИ
И ХОЗЯЙСТВО В НИХ**



ЛЕСА РОССИИ И ХОЗЯЙСТВО В НИХ

Журнал

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

Издается с 2002 года
Выходит четыре раза в год



Редакционный совет:

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

Редколлегия:

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

Редакция журнала:

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

Фото на обложке: И. А. Панин

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

Подписано в печать 05.12.2025.
Дата выхода в свет 12.12.2025.
Формат 60×84/8. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 20,94. Усл. печ. л. 24,64.
Тираж 100 экз. (1-й завод 32 экз.).
Заказ № 8239

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

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

Цена свободная

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

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», 2025

К сведению авторов

Внимание!

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

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

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

Недоукомплектованный пакет материалов не рассматривается.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

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

2. Структура представляемого материала следующая.

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

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

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

(Выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.)

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

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

Благодарности. Заполняется по желанию авторов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Авторы представляют в редакцию журнала:

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

Адрес электронной почты – journal_fr@m.usfeu.ru

• иллюстрации к статье (при наличии);

• рецензию;

• авторскую справку или экспертное заключение;

• согласие на публикацию статьи и персональных данных.

Содержание

Беспалов Ю. В., Игнатовский О. А., Осипенко А. Е., Залесов С. В.	
Обеспеченность подростом и обоснование вида рубок спелых и перестойных насаждений в ленточных борах Алтая	4
Гибадуллин Н. Ф., Зайцев Д. А., Бачериков И. В., Залесов С. В.	
Фитомасса сосновых молодняков на постагротических землях Республики Татарстан	12
Щеплягина А. В., Бунькова Н. П., Воробьева М. В., Семенова М. Е.	
Причины ослабления деревьев в лесных парках	25
Зарубина Л. В., Зайцева В. А., Платонова Ю. А., Кузнецова Л. В.	
Физиологические особенности роста и развития подроста ели в Сокольском бору национального парка «Русский Север»	37
Гибадуллин Н. Ф., Бачериков И. В., Залесов С. В.	
Углероддепонирующая функция сосновых молодняков на постагротических землях Республики Татарстан	52
Сенькова Л. А., Астафьева О. М., Сосновских Е. Я.	
Свойства дерново-подзолистых почв сосновых искусственного происхождения на Среднем Урале	60
Аржанников Ю. А., Панин И. А., Кропотин В. С.	
Выборочные рубки как способ повышения продуктивности дикорастущих черничников	69
Секерин И. М.	
Организация обнаружения лесных пожаров с использованием беспилотных летательных аппаратов	77
Залесов С. В., Предеина И. В., Итешина Н. М., Чынгожоев Н. М., Бунькова Н. П.	
Интенсификация ведения лесного хозяйства как основа современного лесопользования	86
Сорокин С. Н., Степченко А. А., Клименок А. В.	
О некоторых проблемах выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в условиях современных тепличных комплексов	95
Осипенко А. Е., Попов А. С., Залесов С. В., Магасумова А. Г.	
Подготовка почвы под лесные культуры в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе	117
Белоусова О. Н., Морозов А. Е.	
Соблюдение обязательных требований в области лесных отношений.	
Проблемы и пути повышения эффективности на примере отдельного лесничества	127
Баженов Е. Е., Чернышев Д. О., Семенов Е. А.	
Математическое моделирование движения многосекционных активных транспортных систем	139
Панова Т. М., Авдюкова О. Д., Гиндулин И. К., Суховеева А. В., Зверева Д. А.	
Исследование процессов адсорбции танинов на углеродных нанопористых материалах	148
Абрамовских А. О., Газеев М. В., Щепочкин С. В., Шишилов О. Ф., Носоновских К. В.	
Исследование влияния наполнителя клея на физико-механические свойства фанеры	157
Штабнов Н. С., Вазиров Р. А., Котельников М. Е., Шкуро А. Е., Бурындина В. Г.	
Исследование оптических свойств ацетилцеллюлозных пленок	
после облучения электронным пучком	165
Артёмов А. В., Ерикова А. С., Бурындина В. Г., Шкуро А. Е.	
Эколого-экономическое обоснование применения вторичного растительного сырья	
для получения композиционных материалов без применения связующих веществ	172
Пекер Х., Чамлибел О., Улай Г., Аята У.	
Применение льняного масла, модифицированного пчелиным воском,	
на древесине андироба, экабы и хальду	188
Красильникова М. А., Баёв А. А., Тухбатулин М. Н., Шкуро А. Е., Артёмов А. В.	
Исследование продуктов разложения древесно наполненного ПВХ с антиприреном,	
полученным аминолизом ПЭТФ	197
Залесов С. В.	
Нил Алексеевич Коновалов. К 130-летию со дня рождения	206
Залесов С. В.	
Валерий Александрович Щавровский. К 85-летию со дня рождения	209

Content

Bespalov Yu. V., Ignatovsky O. A., Osipenko A. E., Zalesov S. V.	
Undergrowth provision and justification of the cutting type of ripe and overgrown plantations in the ribbon forests of Altai	5
Gibadullin N. F., Zaitsev D.A., Bacherikov I. V., Zalesov S. V.	
Phytomass of pine young forests on postagrogenic lands of the Republic of Tatarstan	13
Shcheplyagina A. V., Bunkova N. P., Vorobyova M. V., Semenova M. E.	
Causes of tree weakening in forest parks	26
Zarubina L. V., Zaitseva V. A., Platonova Yu. A., Kuznetsova L. V.	
Physiological features of growth and development of spruce undergrowth in the Sokolskiy forest of the national park "Russian North"	38
Gibadullin N. F., Bacherikov I. V., Zalesov S. V.	
Carbon-depositing function of pine young forests on postagrogenic lands of the Republic of Tatarstan	53
Senkova L. A., Astafieva O. M., Sosnovskikh E. I.	
Properties of sod-podzolic soils of artificial pine forests in the Middle Urals	61
Arzhannikov Y. A., Panin I. A., Kropotin V. S.	
Selective cutting as a way to increase the productivity of wild blueberries plants	70
Sekerin I. M.	
Organization of forest fire detection using unmanned aerial vehicles	78
Zalesov S. V., Predeina I. V., Iteshina N. M., Chingozhoev N. M., Bunkova N. P.	
Intensification of forest management as a basis for modern forest exploitation	87
Sorokin S. N., Stepchenko A. A., Klimenok A. V.	
On some problems of cultivation of planting material with a closed root system in conditions of modern greenhouse complexes	96
Osipenko A. E., Popov A. S., Zalesov S. V., Magasumova A. G.	
Preparation of soil for forest crops in the West Siberian subtaiga-forest-steppe region	118
Belousova O. N., Morozov A. E.	
Compliance with mandatory requirements in the field of forest relations. Problems and ways to improve efficiency on the example of a separate forestry	128
Bazhenov E. E., Chernyshev D. O., Semenov E. A.	
Mathematical modeling of movement of multi-sectional active transport systems	140
Panova T. M., Avdyukova O. D., Hindulin I. K., Sukhoveeva A. V., Zvereva D. A.	
Research of tannin adsorption processes on carbon nanoporous materials	149
Abramovskikh A. O., Gazeev M. V., Shchepochkin S. V., Shishlov O. F., Nosonovskich K. V.	
Investigation of the influence of the glue filler on physical and mechanical properties of plywood	158
Shtabnov N. S., Vazirov R. A., Kotelnikov M. E., Shkuro A. E., Buryndin V. G.	
Research of optical properties of acetylcellulose films after electron beam irradiation	166
Artyomov A. V., Ershova A. S., Buryndin V. G., Shkuro A. E.	
Ecological and economic justification of the use of secondary plant raw materials for the producing composite materials without the use of binders	173
Peker H., Chamlybel O., Ulay G., Ayata U.	
Application of linseed oil-modified beeswax on andiroba, ekaba and haldu woods	189
Krasilnikova M. A., Baev A. A., Tukhbatulin M. N., Shkuro A. E., Artemov A. V.	
Research of decomposition products of wood-filled PVC with fire retardant produced by aminolysis of PET	198
Zalesov S. V.	
Neil Alekseevich Konovalov. On the 130th anniversary of the birth	206
Zalesov S. V.	
Valery Alexandrovich Shchavrovsky. On the 85th anniversary of the birth	209

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 4–11.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 4–11.

Научная статья

УДК 630*242/.243

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.001

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОДРОСТОМ И ОБОСНОВАНИЕ ВИДА РУБОК СПЕЛЫХ И ПЕРЕСТОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ АЛТАЯ

Юрий Владимирович Беспалов¹, Олег Александрович Игнатовский²,
Алексей Евгеньевич Осипенко³, Сергей Вениаминович Залесов⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Россия

¹ yurig.bespakov.79@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3765-5857>

² Zamdir@kldk.altailies.com, <https://orcid.org/0009-0000-0945-7603>

³ osipenkoae@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9050-8902>

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

Аннотация. На основании литературных и ведомственных материалов, а также результатов собственных исследований авторов, выполненных в соответствии с нормативными документами и апробированными методиками, проанализированы количественные показатели подроста сосны обыкновенной в насаждениях основных типов леса ленточных боров Алтая. Установлено, что лучшей обеспеченностью подростом предварительной генерации характеризуются сосновые насаждения типов леса свежий бор (СВБ) и сухой бор пологих всхолмлений (СПБ). При этом максимальное количество подроста накапливается при относительной полноте материнского древостоя 0,5–0,6. Указанные данные о количестве подроста позволили ряду авторов рекомендовать в качестве основного вида рубок спелых и перестойных насаждений в сосняках Алтая добровольно-выборочные рубки. Данные рубки включены в лесохозяйственные регламенты лесничеств и ведутся в ленточных борах уже на протяжении нескольких десятилетий. Однако они не дали положительного результата, поскольку с увеличением возраста у подроста сосны повышается требовательность к уровню необходимой для фотосинтеза освещенности. При добровольно-выборочной рубке полнота древостоя снижается до 0,5, что создает оптимальные условия для накопления подроста до 10 лет. В более старшем возрасте пороговое значение освещенности для подроста сосны повышается, а поскольку ниже относительную полноту древостоя сделать нельзя, подрост массово отмирает с появлением новой генерации. При этом густота древостоя не только не увеличивается, но даже снижается. Проведение добровольно-выборочных рубок приводит к ветровалам, задернению под пологом леса, повышению пожарной опасности и формированию редин. Рекомендуется заменить добровольно-выборочные рубки в зависимости от типа леса на равномерно-постепенные, чересполосные постепенные или комбинированные выборочные рубки.

Ключевые слова: ленточные боры Алтая, сосняки, подрост, рубки спелых и перестойных насаждений

Для цитирования: Обеспеченность подростом и обоснование вида рубок спелых и перестойных насаждений в ленточных борах Алтая / Ю. В. Беспалов, О. А. Игнатовский, А. Е. Оsipенко, С. В. Залесов // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 4–11.

Original article

UNDERGROWTH PROVISION AND JUSTIFICATION OF THE CUTTING TYPE OF RIPE AND OVERGROWN PLANTATIONS IN THE RIBBON FORESTS OF ALTAI

Yuri V. Bespalov¹, Oleg A. Ignatovsky², Alexey E. Osipenko³, Sergey V. Zalesov⁴

^{1–4} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ yurig.bespalov.79@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3765-5857>

² Zamdir@kldk.altailies.com, <https://orcid.org/0009-0000-0945-7603>

³ osipenkoae@m.usfeu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9050-8902>

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

Abstract. Based on literary and departmental materials, as well as the results of the authors' own research, carried out in accordance with regulatory documents and proven methods, quantitative indicators of Scots pine undergrowth in plantations of the main forest types of ribbon pine forests of Altai were analyzed. It has been established that the best provision of undergrowth of preliminary generation is characterized by pine plantations of forest types fresh forest (FF) and dry forest of gentle hilly surfaces (DF). At the same time, the maximum amount of undergrowth accumulates at a relative completeness of the parent tree stand of 0,5–0,6. The specified data on the amount of undergrowth allowed a number of authors to recommend voluntary-selective cutting as the main type of cutting of ripe and overgrown plantations in the pine forests of Altai. These cuttings are included in the forestry regulations of forestry departments and have been carried out in ribbon forests for several decades. However, they did not give a positive result, since with increasing age, pine undergrowth increases the demands on the level of illumination necessary for photosynthesis. With voluntary selective cutting, the fullness of the stand is reduced to 0,5, which creates optimal conditions for the accumulation of undergrowth for up to 10 years. At an older age, the threshold value of illumination for pine undergrowth increases, and since it is impossible to lower the relative completeness of the forest stand, the undergrowth massively dies off with the advent of a new generation. At the same time, the density of the forest stand not only does not increase, but even decreases. Conducting voluntary selective cutting leads to windfalls, blackening under the forest canopy, increased fire danger and formation of cracks. It is recommended to replace voluntary selective cutting, depending on the forest type, with evenly gradual, interlaced stepwise or combined selective cutting.

Keywords: Altai ribbon forests, pine forests, undergrowth, cutting of ripe and overgrown plantations

For citation: Undergrowth provision and justification of the cutting type of ripe and overgrown plantations in the ribbon forests of Altai / Yu. V. Bespalov, O. A. Ignatovsky, A. E. Osipenko, S. V. Zalesov // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 4–11.

Введение

Правильный выбор вида рубок спелых и перестойных насаждений во многом решает задачу успешного последующего лесовосстановления и минимизирует негативное воздействие на насаждение заготовки древесины (Залесов, 2000, 2020; Луганский и др., 2001; Казанцев и др., 2006; Восстановление..., 2020). Особенno важно правильно выбрать вид рубок спелых и перестойных насаждений в защитных лесах, где главной целью является не заготовка древесины, а сохранение и усиление конкретных экологических функций. В настоящее время действующими нормативными документами (Об утверждении..., 2020) в лесном фонде Российской Федерации допускается проведение двух видов сплошнолесосечных и семи видов выборочных рубок спелых и перестойных насаждений. Однако нередко в эксплуатационных лесах проводятся исключительно сплошнолесосечные рубки, а в защитных – добровольно-выборочные. При этом не учитывается специфика лесорастительных условий, а также таксационные показатели древостоев. Последнее приводит к снижению продуктивности лесов (Сортиментная заготовка..., 2015; Азаренок, Залесов, 2015) и наносит экономический и экологический вред.

При планировании и проведении рубок спелых и перестойных насаждений внимание прежде всего уделяется наличию подроста предварительной генерации. Большинство авторов сходятся во мнении, что значительная часть спелых и перестойных насаждений обеспечена подростом целевых пород. Последнее позволяет при условии его сохранения в процессе проведения лесосечных работ обеспечить успешное лесовосстановление (Дебков и др., 2015; Обеспеченность подростом..., 2019; Обеспеченность спелых..., 2019; Безденежных, Залесов, 2024).

На базе имеющегося подроста предварительной генерации можно не только исключить искусственное лесовосстановление после сплошнолесосечных рубок, но и переформировать производные мягколиственные насаждения в коренные хвойные (Оплетаев, Залесов, 2014; Опыт рубок..., 2014).

Особое значение при сохранении подроста имеет технология проведения лесосечных работ. Так, в частности, при проведении выборочных рубок должно обеспечиваться не только максимальное сохранение подроста предварительной генерации, но и оставляемых на добрачивание деревьев (Герц, Залесов, 2003; Технологические схемы..., 2023).

Цель, методика и объекты исследования

Цель исследования – установить количественные показатели жизнеспособного подроста сосны обыкновенной в различных типах леса Ребрихинского лесничества Алтайского края и на этой основе дать предложения по совершенствованию рубок спелых и перестойных насаждений.

Объектом исследований служили сосновые насаждения Ребрихинского лесничества Министерства природных ресурсов и экологии Алтайского края, территория которого относится к Алтай-Новосибирскому району лесостепей и ленточных боров (О внесении..., 2019).

В основу исследований положен метод пробных площадей (ПП), которые закладывались в соответствии с нормативными документами и апробированными методиками (ОСТ 56-69-83; Основы фитомониторинга..., 2007; Данчева и др., 2023).

Помимо собственных материалов авторов, при анализе использовались литературные и ведомственные материалы, прежде всего материалы лесоустройства.

В процессе исследований все многообразие лесорастительных условий было распределено на семь групп типов леса (таблица).

Наиболее распространенными на территории Ребрихинского лесничества являются насаждения групп типов леса свежий бор и травяной бор, на долю которых приходится 39,4 и 38,7 % покрытых лесной растительностью земель соответственно.

Анализ обеспеченности подростом предварительной генерации осуществлялся по типам леса, что позволило получить объективные данные и дать практические предложения по совершенствованию рубок спелых и перестойных насаждений.

Характеристика групп типов леса в лесном фонде Ребрихинского лесничества
 Characteristics of groups of forest types in the forest fund of the Rebrikhinsky forestry

№ группы типов леса Group of forest types	Наименование и индекс группы типов леса Name and index of the forest type group	Тип леса Type of forest	Целевая порода Target breed	Временно-целевые породы Temporary-target breeds
1	Сухой бор высоких всхолмлений (СБВ) Dry pine forest of high hills (DPFHН)	СБВ (A ₀) DPFHН	С Pine	–
2	Сухой бор пологих всхолмлений (СПБ) Dry pine forest of gentle hills (DPFGH)	СПБ (A ₁) DPFGH	С Pine	–
3	Свежий бор (БСВ) Fresh pine forest (FPS)	СВБ (A ₂) FPS	С Pine	Б Birch
4	Бор пристепной (БПР) Pine forest near the steppe	СПР (A ₂) PFNS	С Pine	Б Birch
5	Травяной бор (БТР) Grassy pine forest (GPF)	ТРБ (A ₃) GPF	С, Б Pine, birch	Б, Ос Birch, aspen
6	Согра сосновидная (СГРС) «Sogra» pine – shaped (SPS)	СГРС (A ₄) SPS	С, Б Pine, birch	Б, Ос Birch, aspen
7	Согра лиственная (СГРЛ) «Sogra» deciduous (SD)	СГРЛ (A ₅) SD	Б Birch	Ос Aspen

Результаты и их обсуждение

В отличие от не покрытых лесной растительностью земель под пологом сосновых насаждений насчитывается большое количество подроста. В отдельных случаях густота подроста превышает 100 тыс. шт./га. В то же время, анализируя процессы лесовосстановления, следует отметить, что в ленточных борах Алтая имеется, как правило, много всходов. Однако при переходе всходов в подрост наблюдается значительный отпад. Основной причиной гибели всходов является недостаток влаги в мае и в начале лета, а также усиленная солнечная инсоляция. Количество подроста и всходов зависит от типа леса и относительной полноты древостоя.

В типе леса сухой бор высоких всхолмлений (СБВ) количество подроста составляет 2,8–3,5 тыс. шт./га. В типе леса сухой бор пологих всхолмлений при аналогичной относительной полноте количество подроста колеблется от 12,0 до 25,0 тыс. шт./га. В насаждения типа леса свежий бор (СВБ) количество подроста варьируется от 6,0 до 48,6 тыс. шт./га и в типе леса травяной бор (ТРБ) – от 9,0 до 34,0 тыс. шт./га.

В ленточных борах на протяжении многих последних десятилетий проводятся выборочные рубки спелых и перестойных насаждений, пре-

имущественно добровольно-выборочные, поэтому представляет интерес ход естественного возобновления сосны в насаждениях, пройденных добровольно-выборочными рубками. В результате исследований, проведенных сотрудниками Воронежского лесотехнического института в 1986 г. и другими авторами (Парамонов, 2015; Лесовосстановление..., 2000), установлено, что в наиболее распространенных типах леса СБП и СВБ при полноте 0,5–0,7 создаются оптимальные условия для появления подроста сосны и его накопления. При этом в насаждениях, пройденных добровольно-выборочными рубками интенсивностью свыше 20 %, преобладает последующее возобновление, на долю которого приходится в среднем около 60 % общего количества подроста. При интенсивности рубок до 20 % преобладает подрост предварительной генерации.

На основании выполненных исследований авторы рекомендуют добровольно-выборочные рубки в качестве основного способа омоложения ленточных боров Алтая в целом и Ребрихинского лесничества в частности. Указанный вид рубок отмечен в качестве основного в лесохозяйственном регламенте и продолжает широко использоваться.

В то же время при значительном общем количестве подроста следует отметить, что под

материнским пологом и в густых куртинах подрост угнетен. Последнее объясняется высоким светолюбием подроста сосны. По данным исследований, нижняя граница приемлемой освещенности для 3–10-летнего подроста сосны составляет 11–13 тыс. лк по средневзвешенной освещенности, а для 10–20-летнего – 13–16 тыс. лк. При этом благоприятная для подроста сосны освещенность в возрасте 3–10 лет создается при относительной полноте древостоя 0,5–0,6, а в возрасте 11–20 лет – при полноте 0,4 (By Van Me, 1983). Указанная особенность подроста сосны предопределяет лесоводственную несостоительность добровольно-выборочных рубок в чистых одновозрастных сосновках. Изреживание древостоя до относительной полноты 0,5, предусмотренной в нормативном документе (Об утверждении..., 2020), вызывает всплеск подроста. Однако спустя 10 лет указанный подрост постепенно отмирает, поскольку снижения относительной полноты древостоя не наблюдается, а светолюбие подроста возрастает. В результате создается видимость благоприятного состояния обеспеченности подростом. Ротации последнего меняются. Однако он не переходит во второй ярус и не увеличивает относительную полноту древостоя. Последнее свидетельствует о необходимости замены добровольно-выборочных рубок в ленточных борах Алтая на равномерно-постепенные, чересполосные постепенные или комбинированные выборочные.

Именно спецификой требовательности подроста сосны к освещенности объясняется хорошее состояние подроста и его значительный прирост по высоте в окнах древостоя и на небольших прогалинах.

При проектировании выборочных рубок, рассчитанных на естественное лесовозобновление, без принятия мер по искусственному лесовосстановлению необходимо располагать объективными данными о доле спелых и перестойных насаждений, имеющих под своим пологом достаточное для последующего лесовосстановления вырубки количество подроста. Выполненные исследования показали, что в соответствии с действующими правилами (Об утверждении..., 2021) спелые и перестойные сосновые насаждения обеспечены подростом предварительной генерации в доста-

точной степени лишь на 28,6 % их общей площади. Наиболее успешно накопление подроста протекает в условиях групп типов леса сухой бор пологих всхолмлений – 57,3 % и свежий бор – 42,5 %. Другими словами, обеспечить успешное возобновление вырубок в случае удаления материнского древостоя можно в половине спелых и перестойных насаждений указанных типов леса. Как раз этот показатель и позволяет рекомендовать добровольно-выборочные рубки, снижающие полноту до 0,5. Однако количество мелкого и среднего подроста в сосновках ленточных боров Алтая не решает задачу омоложения насаждений, поскольку подрост не формирует древостой при данном виде рубок, а отмирает из-за недостатка освещенности.

Особо следует отметить, что в изреженных до относительной полноты 0,5 сосновках типа леса травяной бор подрост сосны встречается единично из-за сильного развития живого напочвенно-го покрова. Для достижения желаемого эффекта в данных условиях необходимо проведение комбинированных выборочных рубок с созданием лесных культур в вырубаемых полосах и эффективным противопожарным устройством.

Выводы

1. Сосновые насаждения ленточных боров Алтая произрастают в экстремальных лесорастительных условиях, выполняя важнейшие экологические функции.

2. В лесном фонде Ребрихинского лесничества, где проводились исследования, доминируют насаждения групп типов леса свежий бор – 39,4 % и травяной бор – 38,7 %.

3. С учетом экологической роли все леса ленточных боров отнесены к защитным, где допускаются только рубки ухода и выборочные рубки.

4. Лучше всего обеспечены подростом предварительной генерации насаждения типов леса сухой бор пологих всхолмлений и свежий бор. Обеспеченность подростом насаждений типа леса травяной бор крайне незначительна.

5. Учитывая высокое светолюбие подроста сосны старше 10 лет, предлагаем отказаться от добровольно-выборочных рубок, заменив их на равномерно-постепенные, чересполосные постепенные и комбинированные выборочные рубки.

Список источников

- Азаренок В. А., Залесов С. В. Экологизированные рубки леса. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 97 с.
- Безденежных И. В., Залесов С. В. Обеспеченность подростом сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) спелых и перестойных мягколиственных насаждений Западно-Сибирского северо-таежного равнинного лесного района // Хвойные бореальные зоны. 2024. Т. XLII, № 2. С. 7–11. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-2-7-11
- Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения / Н. Н. Теринов, Е. М. Андреева, С. В. Залесов [и др.] // ИВУЗ. Лесной журнал. 2020. № 3 (375). С. 9–23.
- By Van Me. Влияние освещенности под пологом насаждений на состояние подроста Охтинского учебно-опытного лесхоза // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение : межвуз. сб. науч. тр. Л. : ЛТА, 1983. С. 36–42.
- Герц Э. Ф., Залесов С. В. Повышение лесоводственной эффективности несплошных рубок путем оптимизации валки назначенных в рубку деревьев // Лесное хозяйство. 2003. № 5. С. 18–20.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2023. 146 с.
- Дебков Н. М., Залесов С. В., Оппетаев А. С. Обеспеченность осинников средней тайги подростом предварительной генерации (на примере Томской области) // Аграрный вестник Урала. 2015. № 12 (142). С. 48–53.
- Залесов С. В. Лесоводство. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
- Залесов С. В. Научное обоснование системы лесоводственных мероприятий по повышению продуктивности сосновых лесов Урала : дис. ... д-ра с.-х. наук / Залесов Сергей Вениаминович. Екатеринбург, 2000. 280 с.
- Казанцев С. Г., Залесов С. В., Залесов А. С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. 121 с.
- Лесовосстановление на Алтае / Е. Г. Парамонов, Я. Н. Ишутина, В. А. Саста [и др.]. Барнаул, 2000. 321 с.
- Луганский Н. А., Залесов С. В., Азаренок В. А. Лесоводство. Екатеринбург : УГЛТА, 2001. 320 с.
- О внесении изменений в приказ Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» : приказ Минприроды России от 19.02.2019 г. № 105. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201904050022> (дата обращения: 10.08.2025).
- Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации : утв. приказом Минприроды России от 01.12.2020 г. № 993. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403417664/> (дата обращения: 10.08.2025).
- Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : утв. приказом Минприроды России от 29.12.2021 г. № 1024. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983487/> (дата обращения: 10.08.2025).
- Обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Пермского края / Е. А. Веденников, С. В. Залесов, Е. С. Залесова [и др.] // Лесной журнал. 2019. № 3. С. 32–42. DOI: 10.17238/issn0536-1036. 2019.3.32
- Обеспеченность спелых и перестойных светлохвойных насаждений Западно-Уральского таежного лесного района подростом предварительной генерации / Е. С. Залесова, С. В. Залесов, Г. Г. Терехов [и др.] // Успехи современного естествознания. 2019. № 1. С. 39–44.

- Оплетаев А. С., Залесов С. В. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 178 с.
- Опыт рубок обновления в одновозрастных рекреационных сосновых подзолы северной лесостепи / С. В. Залесов, Е. С. Залесова, А. В. Данчева, Ю. В. Федоров // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. № 6 (342). С. 20–31.
- Основы фитомониторинга / С. В. Залесов, Е. А. Зотеева, А. Г. Магасумова, Н. П. Шувалова. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. 76 с.
- ОCT 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные, метод закладки. М. : ЦБНТИлесхоз, 1983. 11 с.
- Парамонов Е. Г. Лесовозобновительная роль добровольно-выборочных рубок в ленточных борах Алтая // Лесное хозяйство. 2015. № 2. С. 16–17.
- Сортиментная заготовка древесины / В. А. Азаренок, Э. Ф. Герц, С. В. Залесов, А. В. Мехренцев. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 140 с.
- Технологические схемы использования мини-тракторов на рубках ухода за лесом / Н. Н. Теринов, Э. Ф. Герц, А. В. Мехренцев [и др.] // Resources and Technology. 2023. Т. 20, № 4. С. 1–27.

References

- Azarenok V. A., Zalesov S. V. Ecologized logging. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2015. 97 p.
- Bezdenezhnykh I. V., Zalesov S. V. Forest supply of Siberian pine (*Pinus Sibirica* du Tour.) coniferous and overgrown soft-leaved coniferous plantations of the West Siberian north taiga plain of the forest-steppe region // Coniferous boreal zones. 2024. Vol. XLII, № 2. P. 7–11. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-2-7-11 (In Russ.)
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S. Forest ecological monitoring. Yekaterinburg : State Forest Engineering University, 2023. 146 p.
- Debkov N. M., Zalesov S. V., Opletaev A. S. Provision of aspen-carpet middle taiga with a pre-generation crop (on the example of the Tomsk region) // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. № 12 (142). P. 48–53. (In Russ.)
- Fundamentals of phytomonitoring / S. V. Zalesov, E. A. Zoteeva, A. G. Magasumova, N. P. Shuvalova. Yekaterinburg : State Forest Engineering University, 2007. 76 p.
- Hertz E. F., Zalesov S. V. Improving the forestry efficiency of inconvenient logging by optimizing the rolls assigned to cutting trees // Forestry. 2003. № 5. P. 18–20. (In Russ.)
- Kazantsev S. G., Zalesov S. V., Zalesov A. S. Optimization of forest management in derived birch forests of the Middle Urals. Yekaterinburg : State Forest Engineering University, 2006. 121 p.
- Lugansky N. A., Zalesov S. V., Azarenok V. A. Forestry. Yekaterinburg : UGLTU, 2001. 320 p.
- On amendments to the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 18.08.2014 № 367 “On Approval of the List of Forest Areas of the Russian Federation and the List of Forest Areas of the Russian Federation” : Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 19.02.2019 № 105. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201904050022> (accessed 10.08.2025).
- On approval of the Rules for harvesting wood and the specifics of harvesting wood in forestry areas specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation : Approved by the By Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 01.12.2020 № 993. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403417664/> (accessed 10.08.2025).
- On approval of the Rules of Reforestation, form, Composition, for a Number of agreements of the reforestation project, grounds for Refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of

the reforestation project : By Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated December 29, 2021, № 1024. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983487/> (accessed 10.08.2025).

Opletaev A. S., Zalesov S. V. Reformulation of soft-leaved plantings in larch forests in the Southern Urals.

Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2014. 178 p.

OST 56-69-83. Trial forest management site, method of layingout. Moscow : Tsbntileskhoz, 1983. 11 p.

Paramonov E. G. The forest-forming role of voluntary-elective logging in the belt forests of Altai // Forestry. 2015. № 2. P. 16–17. (In Russ.)

Provision of mature and overmature dark coniferous stands with undergrowth in the Perm region / *E. A. Vedenikov, S. V. Zalesov, E. S. Zalesova* [et al.] // Forest journal. 2019. № 3. P. 32–42. DOI: 10.17238/issn0536-1036. 2019.3.32 (In Russ.)

Provision of ripe and over-ripe light coniferous plantations of the West Ural taiga Forest region with a teenager of prewar generation / *E. S. Zalesova, S. V. Zalesov, G. G. Terekhov* [et al.] // Successes of modern Natural Science. 2019. № 1. P. 39–44. (In Russ.)

Reforestation in Altai / *E. G. Paramonov, Ya. N. Ishutin, V. A. Sasta* [et al.]. Barnaul, 2000. 321 p.

Restoration of spruce forests : theory, domestic experience and solution methods / *N. N. Terinov, E. M. Andreeva, S. V. Zalesov* [et al.] // IVZ. Forest Journal. 2020. № 3 (375). P. 9–23. (In Russ.)

Sorting of trees / *V. A. Azarenok, E. F. Hertz, S. V. Zalesov, A. V. Mehrentsev*. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2015. 140 p.

Technological Schemes for the use of mini-tractors in forest thinning / *N. N. Terinov, E. F. Hertz, A. V. Mehrentsev* [et al.] // Resources and Technology. 2023. Vol. 20, № 4. P. 1–27. (In Russ.)

The experience of logging renovation in monotonous recreational pine forests of the northern forest-steppe subzone / *S. V. Zalesov, E. S. Zalesova, A. V. Dancheva, Yu. V. Fedorov* // IVZ. Forest Journal. 2014. № 6 (342). P. 20–31. (In Russ.)

Wu Van Me. The influence of subsidence under the canopy of plantings on the state of the undergrowth of the Okhta educational and experimental forestry // Forestry, forest crops and soil science : Interuniversity collection of scientific papers. Leningrad : LTA, 1983. P. 36–42. (In Russ.)

Zalesov S. V. Forestry. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 295 p.

Zalesov S. V. Scientific substantiation of the system of forestry measures-measures to increase the productivity of pine forests in the Urals : Dissertation of Doctor of agricultural Sciences / *Zalesov Sergey Veniaminovich*. Yekaterinburg, 2000. 280 p.

Информация об авторах

Ю. В. Беспалов – аспирант;

О. А. Игнатовский – аспирант;

А. Е. Оsipенко – кандидат сельскохозяйственных наук;

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

Information about the authors

Yu. V. Bespalov – graduate student;

O. A. Ignatovsky – graduate student;

A. E. Osipenko – Candidate of Agricultural Sciences;

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

Статья поступила в редакцию 15.08.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 15.08.2025; accepted for publication 15.09.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 12–24.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 12–24.

Научная статья
УДК 630*182.2:581.5(470.41-25)
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.002

ФИТОМАССА СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Нурсиль Фоатович Гибадуллин¹, Дмитрий Андреевич Зайцев²,
Иван Викторович Бачериков³, Сергей Вениаминович Залесов⁴

¹ Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Умные цифровые решения», Московская область, Россия

⁴ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ Nursil.Gibadullin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7234-920X>

² disoks@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8704-6516>

³ ivashka512@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0531-1604>

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

Аннотация. На пробных площадях, заложенных в соответствии с широко известными апробированными методиками, предпринята попытка установления структуры фитомассы сосновых молодняков, сформировавшихся на постагротических землях в четырех административных районах Республики Татарстан. Кроме того, проанализирована фитомасса искусственных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных на склонах путем рядовой посадки 2-летних сеянцев. Исследования показали, что на постагротических землях достаточно успешно формируются естественные сосновые насаждения. При этом фитомасса сосновых молодняков в значительной степени носит зональный характер. Установлено, что фитомасса отдельных фракций дерева и древостоя в целом зависит от почвенных условий и существенно варьируется по ступеням толщины и по административным районам Республики Татарстан. Последнее можно объяснить тем, что южная часть республики относится к лесостепной зоне, а северная – к зоне хвойно-широколиственных лесов, т. е. характеризуется специфическими лесорастительными условиями. Установленная закономерность влияния района исследований на фитомассу сосновых молодняков проявляется в различии соотношений надземной и подземной частей фитомассы деревьев разных ступеней толщины. При этом максимальной фитомассой характеризуются наиболее крупные по диаметру на высоте 1,3 м деревья. Их фитомасса в целом превышает таковую у деревьев тонких ступеней толщины, несмотря на доминирование последних в общем количестве деревьев. Полученные данные о структуре фитомассы естественных сосновых молодняков, формирующихся на постагротических землях, а также в искусственных сосновых насаждениях, созданных на склонах, составляют основу для разработки рекомендаций по ведению лесного хозяйства в насаждениях на бывших сельскохозяйственных угодьях.

Ключевые слова: фитомасса, сосна обыкновенная, Республика Татарстан, постагрогенные земли

Для цитирования: Фитомасса сосновых молодняков на постагрогенных землях Республики Татарстан / Н. Ф. Гибадуллин, Д. А. Зайцев, И. В. Бачериков, С. В. Залесов // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 12–24.

Original article

PHYTO MASS OF PINE YOUNG FORESTS ON POSTAGROGENIC LANDS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

**Nursil F. Gibadullin¹, Dmitry A. Zaitsev², Ivan V. Bacherikov³,
Sergey V. Zalesov⁴**

¹ Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

² St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov,
Saint Petersburg, Russia

³ Smart Digital Solutions LLC, Moscow Region, Russia

⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ Nursil.Gibadullin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7234-920X>

² disoks@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8704-6516>

³ ivashka512@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0531-1604>

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

Abstract. Based on the sample plots laid out in accordance with well-known proven methods, an attempt was made to establish the structure of the phytomass of pine young forests formed on postagrogenic lands in four administrative districts of the Republic of Tatarstan. In addition, the phytomass of artificial plantations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), created on hillside by planting in lines of 2-year-old seedlings, was analyzed. The research showed that natural pine plantations are quite successfully formed on postagrogenic lands. At the same time, the phytomass of pine young forests is largely zonal. It was found that the phytomass of individual fractions of wood and the forest stand as a whole depends on soil conditions and varies significantly by thickness levels and by administrative districts of the Republic of Tatarstan. The latter can be explained by the fact that the southern part of the republic belongs to the forest-steppe zone, and the northern part to the zone of coniferous-broad-leaved forests, that is, it is characterized by specific forest growth conditions. The established pattern of the influence of the research area on the phytomass of pine young stands is manifested in the difference in the ratios of the aboveground and underground parts of the phytomass of trees of different thickness levels. The trees with the largest diameter at a height of 1,3 m are characterized by the maximum phytomass. Their phytomass generally exceeds that of trees of thin thickness grades, despite the dominance of the latter in the total number of trees. The obtained data on the structure of the phytomass of natural pine young forests formed on postagrogenic lands, as well as in artificial pine plantations created on hillside, create the basis for developing recommendations for forestry in plantations formed on former agricultural lands.

Keywords: phytomass, Scots pine, Republic of Tatarstan, postagrogenic lands

For citation: Phytomass of pine young forests on postagrogenic lands of the Republic of Tatarstan / N. F. Gibadullin, D. A. Zaitsev, I. V. Bacherikov, S. V. Zalesov // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 12–24.

Введение

За последние десятилетия площадь сельскохозяйственных земель в Республике Татарстан значительно сократилась. Это связано как с переводом земель в другие категории, так и с естественным зарастанием заброшенных участков. Климатические условия региона также играют важную роль в процессах зарастания. Умеренно-континентальный климат способствует быстрому распространению древесно-кустарниковой растительности на заброшенных землях. Однако засушливые периоды могут замедлять этот процесс, особенно в южных районах республики. Определяя направление использования сельскохозяйственных земель с естественным возобновлением древесной растительности, необходимо оценить экосистемные выгоды, которые можно получить от таких земель (Жижин и др., 2022; Гичан, Тебенькова, 2023). Экологическая ценность формируемых древесных сообществ должна быть основным критерием при определении направления использования данных насаждений на сельскохозяйственных землях (Новоселова и др., 2016, Закономерности..., 2022). При этом по Республике Татарстан подобные исследования практически не проводились. В связи с вышеизложенным изучение накопления фитомассы в сосновых молодняках на постагротических землях региона представляет интерес для практики и теории лесоводственно-экологических исследований. Процессы формирования надземной и подземной фитомассы древесных видов в результате различных взаимодействий анализировались неоднократно (Опыт оценки..., 1991; Зависимые от фитомассы..., 2005; Масса..., 2021; Формирование..., 2023). Традиционно при объяснении факторов, влияющих на сукцессию, основное внимание уделяется абиотическим факторам среды (Молчанов, 1971; Уткин, 1975; Закономерности..., 2023). Однако в более короткие сроки, т. е. от месяцев до десятилетий, сукцессии лучше объясняются взаимодействием между растениями и надземной и подземной биотой (Исследования..., 2019; Савиных, Березин, 2021).

Один из способов решения данной задачи состоит в повышении точности определения содержания сухого вещества одного из наиболее тру-

доемких процессов при определении фитомассы и углеродного птула деревьев (Замолодчиков, Уткин, 2000; Усольцев, Залесов, 2005; Видовые особенности..., 2024).

Цель, методика и объекты исследования

Целью проведенного исследования была оценка накопления фитомассы сосновыми молодняками на бывших пахотных землях Республики Татарстан (РТ) в различных районах исследования на почвах различного генезиса. В четырех административных районах региона исследования были заложены пробные площади (ПП) в сосновых молодняках на постагротических землях. Закладывалось по две ПП в каждом насаждении площадью 0,5 га, где изучались лесоводственно-таксационные показатели насаждений и делались почвенные прикопки. Далее был проведен отбор модельных деревьев по представленным ступеням толщины стволов сосны. Каждое модельное дерево раскряжевывалось на отрезки, отделялись ветви и проводилось прямое взвешивание на площадных весах. Затем модельные ветви, хвоя, шайбы древесины высушивались в сушильном шкафу до абсолютно сухой массы (Уткин, 1975; Исследования..., 2019), масса корней определялась по аллометрическим уравнениям. Пересчет абсолютно сухой фитомассы проводился согласно представленности по ступеням толщины на весь запас древостоя сосновых молодняков.

Для определения различий по формированию фитомассы сосновых молодняков по региону исследования применялись однофакторный дисперсионный анализ и непараметрический анализ по критерию Краскела – Уоллиса (Бондаренко, Жигунов, 2016; Багинский, Лапицкая, 2024).

Географическое расположение опытных объектов охватывает несколько районов Татарстана: Бугульминский, Пестрищенский, Высокогорский и Лаишевский. Эти территории находятся в зоне хвойно-широколиственных лесов и лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины, для которой типичен умеренно-континентальный климат. Каждый из опытных участков характеризуется особенностями почвенно-грунтовых условий:

Бугульминский район – выщелоченный постагротический чернозем; Лайшевский район – песчаный серый агрозем; Высокогорский и Пестречинский районы – суглинистый серый агрозем. Для есте-

ственное возобновившихся древостоев характерна незначительная доля березы в составе. Таксационные характеристики насаждений по районам приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Биометрические характеристики сосновых молодняков на объектах исследования
Biometric indicators of juvenile pine stands within the study objects

№ ПП № SP	Возраст, лет Age, years		Высота, м Height, m		Диаметр, см Diameter, cm		Густота, тыс. шт./га Density, thousand units/ha		Запас, м ³ Growing stock, m ³
	С P	Б B	С P	Б B	С P	Б B	С P	Б B	
Бугульминский р-он РТ, естественное возобновление Bugulminsky district of the Republic of Tatarstan, natural renewal									
ПП-1 SP-1	15	11	4,8	5,0	6,2	10	8,7	0,2	101
ПП-2 SP-2	15	11	4,2	4,7	6,8	11	7,2	0,1	92
Лайшевский р-он РТ, естественное возобновление Laishevsky district of the Republic of Tatarstan, natural renewal									
ПП-1 SP-1	11	11	2,8	4,6	10	6,1	5,1	0,1	44
ПП-2 SP-2	12	11	3,2	4,1	8,8	5,6	4,2	0,1	40
Высокогорский р-он РТ, естественное возобновление Vysokogorsky district of the Republic of Tatarstan, natural renewal									
ПП-1 SP-1	12	11	4,2	5,1	4,2	6,1	6,8	0,3	82
ПП-2 SP-2	12	11	4,6	4,5	4,8	5,6	5,2	0,2	61
Пестречинский р-он РТ, склоновые противоэрозионные лесные культуры Pestrechinsky district of the Republic of Tatarstan, slope erosion control forest plantation									
ПП-1 SP-1	10	—	3,5	—	4,4	—	3,5	—	37
ПП-2 SP-2	10	—	3,6	—	4,6	—	3,6	—	39

Примечание. ПП – пробная площадь; С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.); Б – береза повислая (*Betula pendula*).
Note. SP – sample plot; P – Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.); B – Silver birch (*Betula pendula*).

Результаты и их обсуждение

Были получены данные по показателям фитомассы сосновых молодняков в разных районах РТ по ступеням толщины и по фракциям. Общая производенная фитомасса насаждениями по районам приведена в табл. 2.

Проведенный однофакторный анализ элементов фитомассы сосновых молодняков выявил значимое различие накопления фитомассы

по ступеням толщины деревьев между районами исследования (табл. 3). Полученные показатели критериев Фишера показывают достоверную разницу между сосновыми молодняками по районам исследования. Можно отметить, что различия по объектам для фитомассы ветвей близки к критическому уровню достоверности в 95 %, в остальных случаях, за исключением надземной фитомассы, различны на уровне 99 %.

Таблица 2
Table 2

Средняя фитомасса сосновых молодняков на постагрогенных землях РТ
Average phytomass of juvenile pine stands on post-agrogenic lands in the Republic of Tatarstan

Район исследования Research area	Вид возобновления Type of renewal	Почва Soil	Фитомасса (абсолютно сухая) сосновых молодняков, т/га Phytomass (absolutely dry) of young pine trees, tons per hectare
Бугульминский район Bugulminsky district	Естественное возобновление Natural renewal	Деградированные черноземы Degraded chernozems	44,8
Лаишевский район Laishevsky district	Естественное возобновление Natural renewal	Серые песчаные почвы Grey sandy soils	31,2
Высокогорский район Vysokogorsky district	Естественное возобновление Natural renewal	Серые суглинистые почвы Grey loamy soils	53,7
Пестречинский район Pestrechinsky district	Склоновые культуры Slope forest crops	Серые суглинистые почвы Grey loamy soils	23,2

Таблица 3
Table 3

Однофакторный дисперсионный анализ различий элементов фитомассы
сосновых молодняков по районам исследования
Single-factor ANOVA testing regional differences in juvenile pine phytomass structure

Сравниваемая группа показателей The group of indicators being compared	Фактический критерий Фишера $F_{факт}$ Fischer's Actual Criterion F_{fact}	Теоретический критерий Фишера $F_{теор0,05}$ The theoretical Fischer criterion $F_{teop0,05}$	Вероятность принятия нулевой гипотезы The probability of accepting a zero hypothesis
Надземная фитомасса Aboveground phytomass	2,41	2,18	0,033651
Стволовая фитомасса Stem phytomass	5,85	3,01	0,004063
Фитомасса ветвей Phytomass of branches	3,31	3,01	0,044837
Фитомасса хвои Phytomass of needles	12,13	3,03	0,000001
Фитомасса корней Phytomass of roots	4,10	3,03	0,018418
Общая фитомасса Total phytomass	5,20	3,03	0,006870

Сосновые молодняки на бывших пахотных землях по региону исследования имеют как разную представленность по ступеням толщины стволов, густоту, так и запас, что и определило в конечном итоге их фитомассу. Анализ распределения фитомассы был проведен отдельно для каждой ПП на объектах по районам исследования для возможного выявления флюктуации фитомассы сосновых

молодняков на постагрогенных почвах. Так, для постагрогенных земель Бугульминского района РТ было выявлено, что на данном возрастном этапе депонирование фитомассы происходит в наиболее представленных ступенях толщины (6 см) на данных опытных объектах и ряд распределения имеет фактически обратно экспоненциальное распределение (рис. 1).

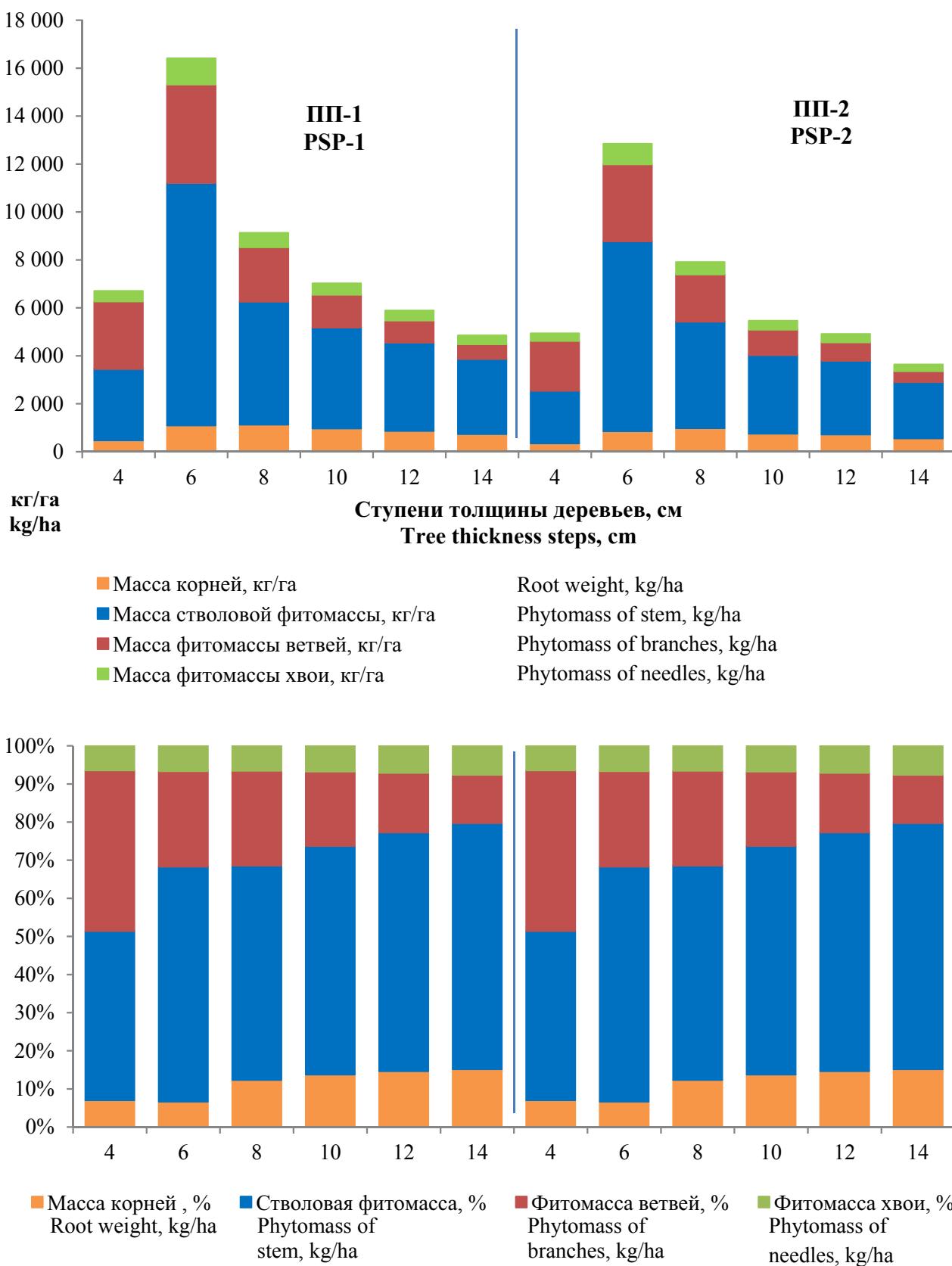


Рис. 1. Соотношение фракций фитомассы сосновых молодняков на постагротических черноземах Бугульминского района РТ
Fig. 1. Allocation of phytomass fractions in juvenile pine stands on postagrogenic black soils (Bugulminsky District, Tatarstan)

Наименее значительная часть фитомассы депонируется в самых мелких деревьях сосны (4 см), так как полного смыкания сосновых молодняков не произошло и процесс возобновления не затухает. Проявляется закономерность уменьшения фитомассы ветвей с увеличением ступени толщины стволов. Однако корневая масса составляет от 7 до 15 % всей фитомассы сосновых деревьев по ступеням толщины. Вероятно, что бывший пахотный горизонт позволяет активно осваивать корням всю преобразованную толщу черноземных почв.

Для условий постагрогенных серых песчаных почв Лайшевского района РТ распределение фитомассы молодняков сосны аналогично распределению постагрогенных почв Бугульминского района (рис. 2). Однако количество ступеней толщины основной фитомассы деревьев сосны представлено тремя, так как доля мелких ступеней невелика (менее 5 %) и не вносит существенного вклада в этот показатель, что, вероятно, связано с меньшим обеспечением почв элементами питания. Соотношение подземной (корневой) и надземной фитомассы имеет меньшее значение, чем на постагрогенных черноземных почвах, и составляет 8–9 %.

Для участков с серыми суглинистыми почвами на постагролемах Высокогорского района депонирование фитомассы имеет отличный характер от рассмотренных выше участков. Так, депонирование фитомассы по ступеням толщины имеет близкое к нормальному распределение соснового молодняка (рис. 3).

На долю общей фитомассы для сосновых деревьев приходится от 6 до 9 % корневой части насаждения, причем прослеживается четкая тенденция к росту с увеличением диаметра ствола. Количество фитомассы кроны по ступеням стволов также выше, чем в других районах исследования. Однако с увеличением диаметра ствола уменьшается доля фитомассы ветвей в совокупной фитомассе. Увеличение массы хвои связано

с необходимостью продуцировать большее количество древесины.

Представляет несомненный интерес исследование склоновых культур, созданных на аналогичных почвах на постагрогенных землях в Пестречинском районе РТ (рис. 4). Распределение фитомассы культур флуктуирует по ступеням толщины. Основная масса на данном возрастном этапе находится в стволов диаметром 4 и 8 см. Однако соотношение корневой и надземной массы увеличивается с ростом диаметра стволов деревьев и имеет размах от 3 до 16 %. Вероятно, это связано с рядовой посадкой деревьев и одновозрастностью деревьев сосны.

В пределах даже одного района вариабельность по ступеням толщины деревьев сосны по кроновой и корневой фитомассе имеет сильные флуктуации, что, вероятно, связано с активным ростом на данном возрастном этапе.

Соотношение наземной и подземной массы сосновых молодняков варьирует не только по ступеням толщины, но и по районам исследования. Однако наблюдается закономерность уменьшения фитомассы, депонируемой в крупных ступенях толщины деревьев сосны на деградированных черноземах и песчаных серых почвах, что, вероятно, связано с дефицитом влаги в них в отличие от серых суглинистых почв в других районах.

Для корректного сравнения объектов исследования по различию в продуцируемой фитомассе было использовано процентное соотношение в связи с разной структурой сформированных насаждений. Сравнительный непараметрический анализ по критерию Краскела – Уоллиса (*H*-критерий) показал, что между районами исследования имеется значимое различие по процентному соотношению элементов фитомассы молодняков сосны на уровне достоверности 99 % для всех элементов структуры фитомассы, что позволяет сделать вывод о влиянии фактора района произрастания на распределение фитомассы.

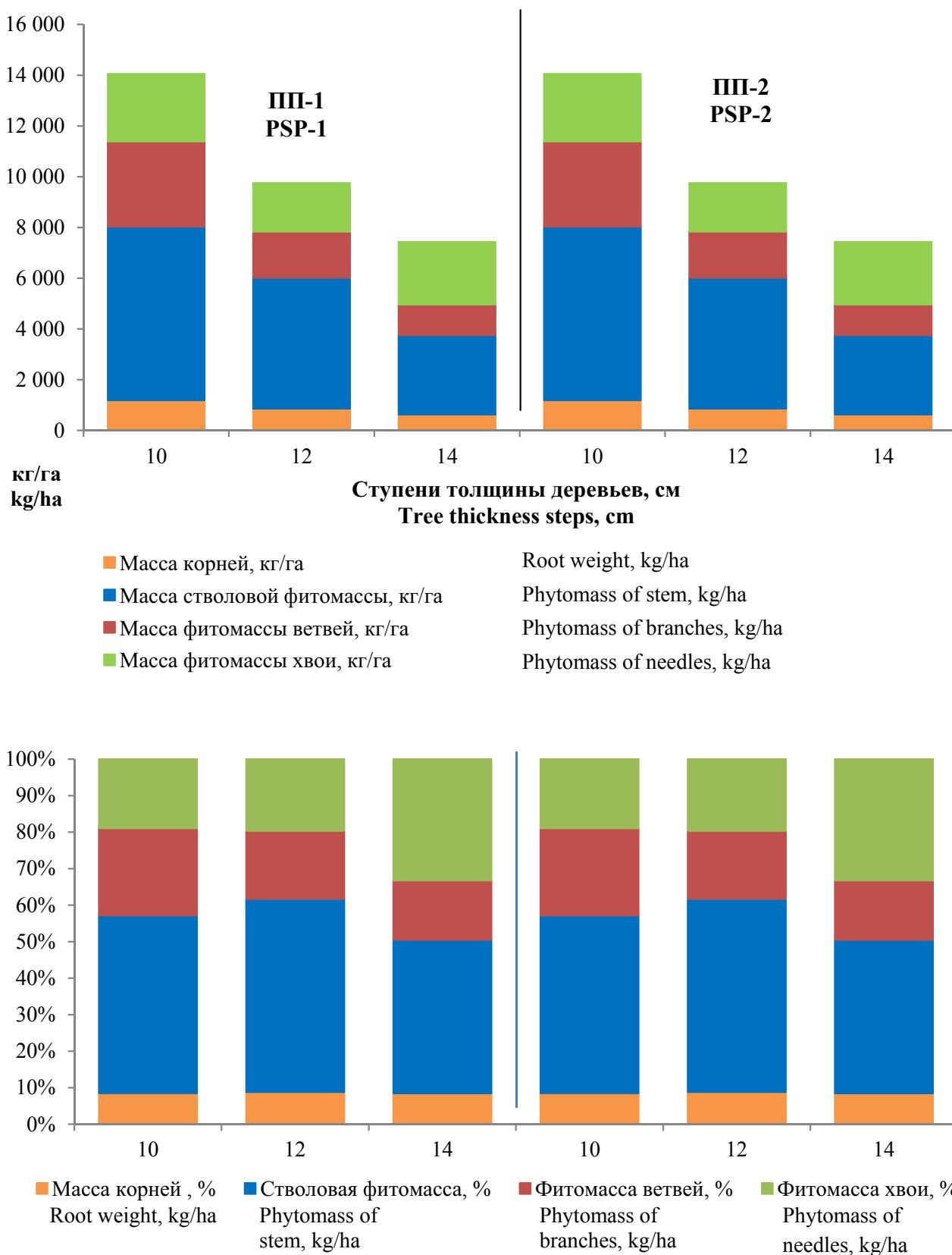


Рис. 2. Соотношение фракций фитомассы сосновых молодняков на постагротических серых песчаных почвах Лайшевского района РТ

Fig. 2. Allocation of phytomass fractions in juvenile pine stands on postagrogenic gray sandy soils of the Laishevsky district of the Republic of Tatarstan

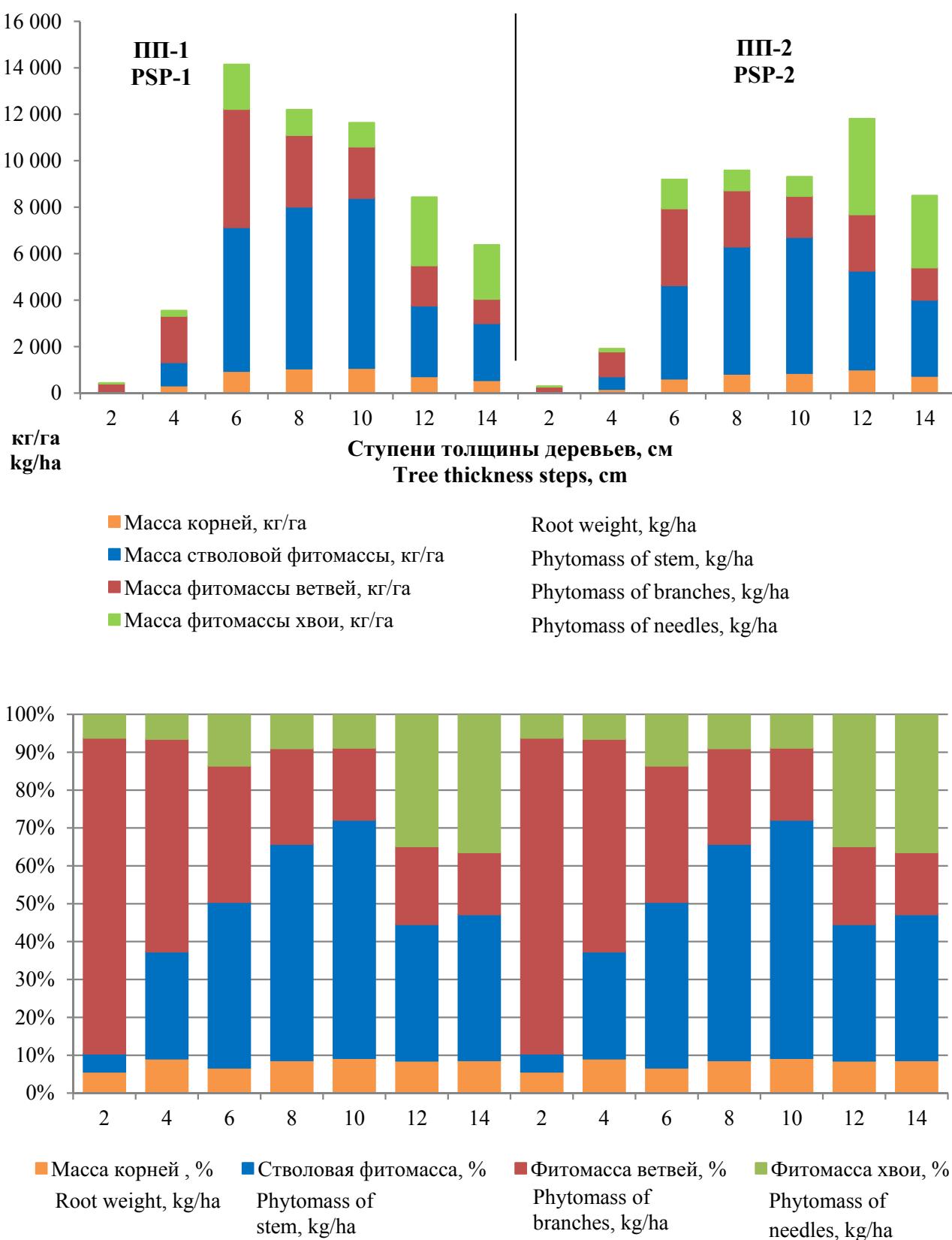


Рис. 3. Соотношение фракций фитомассы сосновых молодняков на постагротехнических суглинистых серых почвах Высокогорского района РТ

Fig. 3. Allocation of phytomass fractions in juvenile pine stands on postagrogenic loamy gray soils of the Vysokogorsky district of the Republic of Tatarstan

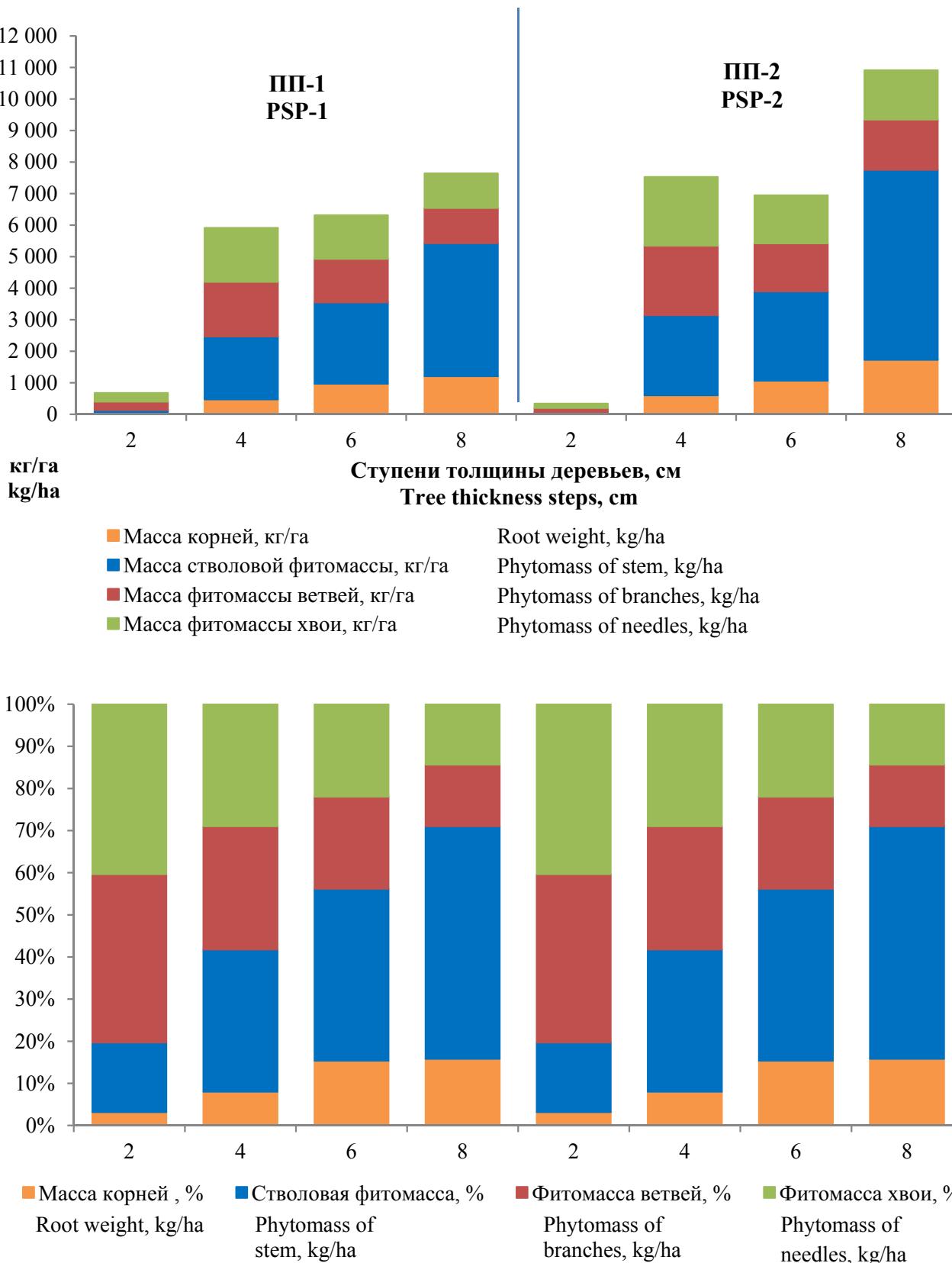


Рис. 4. Соотношение фракций фитомассы сосновых молодняков на постагротических суглинистых серых почвах Пестречинского района РТ

Fig. 4. Allocation of phytomass fractions in juvenile pine stands on postagrogenic loamy gray soils of the Pestrechinsky district of the Republic of Tatarstan

Выводы

По результатам исследования установлено, что формирование общей фитомассы молодняков сосны на постагротических почвах носит зональный характер в регионе исследования и накопление фитомассы в отдельных частях деревьев сосны имеет различный количественный характер. Соотношение наземной и подземной массы сосновых

молодняков варьирует не только по ступеням толщины, но и по районам исследования. Полученные данные могут быть использованы для определения прогнозного объема фитомассы сосновых деревьев и для оценки депонирующей функции древостоев, возобновившихся на постагротических землях в регионе исследования.

Список источников

- Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Лесная биометрия. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2024. 318 с.
- Бондаренко А. С., Жигунов А. В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 125 с.
- Видовые особенности изменения содержания сухого вещества в древесине и коре вдоль по стволу дерева / В. А. Усольцев, Н. И. Плюха, И. С. Цепордей, Е. М. Ангальт // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 130–142. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.013
- Гичан Д. В., Тебенькова Д. Н. Зарастание земель сельскохозяйственного назначения древесной растительностью: масштабы, причины, пути использования. Обзор // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6, № 3. С. 1–50. DOI: 10.31509/2658-607x-202363-131
- Жижин С. М., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Изменение площади сельскохозяйственных угодий в Удмуртской Республике // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 3. С. 47–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-47-53
- Зависимые от фитомассы предикторы надземной чистой первичной продукции насаждений основных лесообразующих пород России / А. И. Уткин, Д. Г. Замолодчиков, Я. И. Гульбе [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 707–715.
- Закономерности лесовосстановительных сукцессий на заброшенных сельскохозяйственных землях Башкирского Предуралья / П. С. Широких, Н. И. Федоров, И. Р. Туктамышев [и др.] // Экология. 2023. № 3. С. 179–187. DOI: 10.31857/S036705972303006X
- Закономерности современного использования заброшенных сельскохозяйственных земель в широколиственno-лесной и лесостепной зонах Республики Башкортостан / И. Р. Туктамышев, Ю. А. Федорова, П. С. Широких // Экобиотех. 2022. Т. 5, № 3. С. 152–160. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-152-160
- Замолодчиков Д. Г., Уткин А. И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54–63.
- Исследования по биологической продуктивности лесов в Институте лесоведения РАН / Я. И. Гульбе, А. Я. Гульбе, Л. С. Ермолова, Т. А. Гульбе // Лесохозяйственная информация : электрон. сетевой журн. 2019. № 4. С. 7–22. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.01
- Масса тонких корней в почвах лесных сообществ на постагротических землях в условиях средней тайги (на примере Республики Карелия) / А. Ю. Карпекко, А. В. Туюнен, М. В. Медведева [и др.] // Растильные ресурсы. 2021. Т. 57, № 2. С. 145–157. DOI: 10.31857/S0033994621010088
- Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М. : Наука, 1971. 276 с.
- Новоселова Н. Н., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 106 с.
- Опыт оценки массы крон мелколиственных древостоев по параметрам ветвей и ствола / Т. А. Гульбе, С. Г. Рождественский, А. И. Уткин [и др.] // Лесоведение. 1991. № 2. С. 48–58.

- Повышение эффективности использования бывших сельскохозяйственных угодий / С. В. Залесов, С. М. Жижин, А. Г. Магасумова [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 104–116. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.104-116
- Савиных Н. П., Березин А. А. О начальных стадиях формирования постагренических лесов с позиций популяционно-онтогенетического подхода // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4 (106). Ч. 2. С. 62–67. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.036
- Усольцев В. А., Залесов С. В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 147 с.
- Уткин А. И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Итоги науки и техники. Серия : Лесоведение и лесоводство. Т. 1. М. : Наука, 1975. С. 9–190.
- Формирование надземной фитомассы лиственных древесных пород на постагренических землях / Д. А. Данилов, А. А. Яковлев, С. А. Суворов [и др.] // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 1. С. 65–76. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-65-76

References

- Baginsky V. F., Lapitskaya O. V. Forest biometrics.* Gomel : F. Skorina State University, 2024. 318 p.
- Bondarenko A. S., Zhigunov A. V. Statistical processing of forestry research materials.* St. Petersburg : Polytechnic University Publishing House, 2016. 125 p.
- Formation of aboveground phytomass of deciduous tree species on postagrogenic lands / D. A. Danilov, A. A. Yakovlev, S. A. Suvorov [et al.] // Izvestiya vuzov. Forest magazine. 2023. № 1. P. 65–76. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-65-76 (In Russ.)
- Gichan D. V., Tebenkova D. N. Overgrowth of agricultural lands with woody vegetation: scale, causes, ways of use. Review* // Questions of forest science. 2023. Vol. 6, № 3. Article № 131. С. 1–50. DOI: 10.31509/2658-607x-202363-131 (In Russ.)
- Improving the efficiency of the use of former agricultural lands / S. V. Zalesov, S. M. Zhizhin, A. G. Magasumova [et al.] // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2022. Issue 239. P. 104–116. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.104-116 (In Russ.)
- Molchanov A. A. Productivity of organic matter in forests of various zones.* Moscow : Nauka, 1971. 276 p.
- Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G. Formation of woody vegetation on former agricultural lands.* Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 106 p.
- Patterns of modern use of abandoned agricultural lands in the broad-leaved forest and forest-steppe areas of the Republic of Bashkortostan / I. R. Tuktamyshev, Yu. A. Fedorova, P. S. Shirokikh // Ecobiotech. 2022. Vol. 5, № 3. P. 152–160. DOI: 10.31163/2618-964X-2022-5-3-152-160 (In Russ.)
- Patterns of reforestation successions on abandoned agricultural lands of the Bashkir Urals / P. S. Shirokikh, N. I. Fedorov, I. R. Tuktamyshev [et al.] // Ecology. 2023. № 3. P. 179–187. DOI: 10.31857/S036705972303006X (In Russ.)
- Phytomass-dependent predictors of aboveground pure primary production of plantations of the main forest-forming species of Russia / A. I. Utkin, D. G. Zamolodchikov, Ya. I. Gulbe [et al.] // Siberian Ecological Journal. 2005. № 4. P. 707–715. (In Russ.)
- Research on biological productivity of forests at the Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences / Ya. I. Gulbe, A. Ya. Gulbe, L. S. Ermolova, T. A. Gulbe // Forestry information : electron. Network Journal. 2019. № 4. P. 7–22. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.01 (In Russ.)
- Savinykh N. P., Berezin A. A. On the initial stages of formation of postagrogenic forests from the perspective of a population-ontogenetic approach* // International Scientific Research Journal. 2021. № 4 (106). Part 2. P. 62–67. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.036 (In Russ.)

Specific features of changes in the content of dry matter in wood and bark along the trunk of a tree / *V. A. Usoltsev, N. I. Plukha, I. S. Tseporey, E. M. Anhalt* // Russian forests and their management. 2024. № 4 (91). P. 130–142. DOI: 10.51318/FRET.2024.91.4.013 (In Russ.)

The experience of estimating the mass of crowns of small-leaved stands by the parameters of branches and trunks / *T. A. Gulbe, S. G. Rozhdestvensky, A. I. Utkin* [et al.] // Forestry. 1991. № 2. P. 48–58. (In Russ.)

The mass of thin roots in the soils of forest communities on postagrogenic lands in the conditions of the middle taiga (on the example of the Republic of Karelia) / *A. Y. Karpechko, A. V. Tuyunen, M. V. Medvedeva* [et al.] // Plant resources. 2021. Vol. 57. № 2. P. 145–157. DOI: 10.31857/S0033994621010088

Usoltsev V. A., Zalesov S. V. Methods for determining biological productivity of plantings. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2005. 147 p.

Utkin A. I. Biological productivity of forests (research methods and results) // Results of science and technology. Series : Forestry and forestry. Vol. 1. Moscow : Nauka, 1975. P. 9–190. (In Russ.)

Zamolodchikov D. G., Utkin A. I. A system of conversion ratios for calculating the net primary production of forest ecosystems by the supply of plantings // Forestry. 2000. № 6. P. 54–63. (In Russ.)

Zhizhin S. M., Zalesov S. V., Magasumova A. G. Changes in the area of agricultural land in the Udmurt Republic // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. 2022. Vol. 26, № 3. P. 47–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-47-53 (In Russ.)

Информация об авторах

Н. Ф. Гибадуллин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Д. А. Зайцев – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

И. В. Бачериков – кандидат технических наук, математик-аналитик;

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

Information about the authors

N. F. Gibadullin – Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor;

D. A. Zaytsev – Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor;

I. V. Bacherikov – Candidate of Technical Sciences, mathematician;

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

Статья поступила в редакцию 09.08.2025; принята к публикации 20.09.2025.

The article was submitted 09.08.2025; accepted for publication 20.09.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 25–36.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 25–36.

Научная статья
УДК 630.272:630.181
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.003

ПРИЧИНЫ ОСЛАБЛЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ В ЛЕСНЫХ ПАРКАХ

Александра Владимировна Щеплягина¹, Наталья Павловна Бунькова²,
Марина Владимировна Воробьева³, Маргарита Евгеньевна Семенова⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ ananinaav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0009-0194-746x>

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

³ vorobeavamv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1059-9670>

⁴ margo.semenova2023@ya.ru, <http://orcid.org/0009-0001-2062-5716>

Аннотация. На основании материалов девяти пробных площадей проанализированы таксационные показатели и приведены признаки ослабления деревьев в насаждениях сосняков ягодникового и разнотравного в трех лесных парках г. Екатеринбурга. На основе выполненных исследований отмечается, что лесные парки характеризуются сосновыми насаждениями различных стадий дегрессии, т. е. испытывают различные рекреационные нагрузки. Интенсивная посещаемость лесных парков обусловила ухудшение санитарного состояния насаждений и вызвала целый перечень различного рода заболеваний и повреждений, что приводит к ослаблению деревьев, потере их эстетической привлекательности и в конечном счете может привести к их гибели. Всего выявлено 18 признаков ослабления: гниль, пятнистость на листьях, ведьмина метла, смолотечение, опухоль, язва, дехромация хвои, ажурность кроны, усыхание ветвей в кроне, суховершинность, флагообразная крона, наклон ствола, деформация ствола, морозобоины, механические повреждения ствола, повреждение корней, пожарные раны, дупла. На всех пробных площадях зафиксировано наличие насекомых-ксилофагов, представленных малым сосновым лубоедом, большим сосновым лубоедом, черным сосновым усачом и семейством златки. Указанные виды представлены единично. На восьми пробных площадях обнаружена сосновая губка. При этом с увеличением рекреационной нагрузки количество пораженных сосновой губкой деревьев увеличивается. В целях повышения рекреационной устойчивости насаждений лесных парков г. Екатеринбурга предлагается реализация комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию использования рекреационных ресурсов и сохранение устойчивости насаждений.

Ключевые слова: лесной парк, сосновые насаждения, рекреация, ослабление деревьев, причины ослабления

Для цитирования: Причины ослабления деревьев в лесных парках / А. В. Щеплягина, Н. П. Бунькова, М. В. Воробьева, М. Е. Семенова // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 25–36.

Original article

CAUSES OF TREE WEAKENING IN FOREST PARKS

Alexandra V. Shcheplyagina¹, Natalia P. Bunkova²,

Marina V. Vorobyova³, Margarita E. Semenova⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ ananinaav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0009-0009-0194-746x>

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

³ vorobevamv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1059-9670>

⁴ margo.semenova2023@ya.ru, <http://orcid.org/0009-0001-2062-5716>

Abstract. Based on the materials of nine sample plots, taxation indicators were analyzed and signs of tree weakening in berry and mixed herbs pine plantations in three forest parks of Yekaterinburg are presented. Based on the studies performed, it is noted that forest parks are characterized by pine plantations of various stages of degradation, i.e. they experience various recreational loads. Intensive attendance of forest parks has caused a deterioration in the sanitary condition of the plantations and caused a whole list of various diseases and damages, which leads to weakening of trees, loss of their aesthetic appeal and, ultimately, can lead to death. A total of 18 signs of weakening were identified: forest rot, spotting on leaves, witches' broom, resin bleeding, histoma, ulcer, needle discoloration, openwork crown, drying of branches in the crown, stagheadedness, flag-shaped crown, trunk tilt, trunk deformation, frost cracks, mechanical damage to the trunk, root damage, fire wounds, tree hollows. In all sample plots, the presence of xylophagous insects was recorded, represented by the small pine beetle, the large pine beetle, the black pine longhorn beetle and the species of buprestid. The above species are presented singly. The pine sponge was found in eight sample plots. At the same time, with an increase in the recreational load, the number of trees affected by pine sponge increases. In order to increase the recreational sustainability of forest park plantations in Yekaterinburg, it is proposed to implement a set of measures aimed at optimizing the use of recreational resources and maintaining the sustainability of plantations.

Keywords: forest park, pine plantations, recreation, tree weakening, causes of weakening

For citation: Causes of tree weakening in forest parks / A. V. Shcheplyagina, N. P. Bunkova, M. V. Vorobyova, M. E. Semenova // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 25–36.

Введение

Лесные парки, расположенные вблизи крупных городов, являются любимым местом отдыха для населения и играют важнейшую роль в создании комфортной среды для проживания (Качество жизни..., 2012, 2013; Жилищно-коммунальное хозяйство..., 2017). В то же время увеличение количества посетителей обусловливает повышение интенсивности рекреационной нагрузки и, как следствие этого, опасность потери насаждениями лесных парков не только рекреационной привлекательности, но и устойчивости.

Указанное объясняется целым рядом причин. В частности, растения, произрастающие в лесных

парках, вынуждены мириться с воздействием промышленных поллютантов (Колтунов и др., 2007, 2011; Залесов и др., 2008, 2017; Залесов, Колтунов, 2009), уплотнением почвы и другими последствиями, вызываемыми отдыхающими (Коростелев и др., 2010; Залесов и др., 2016; Данчева и др., 2015; Данчева, Залесов, 2016; Бунькова, Залесов, 2016, 2024). Кроме того, в указанных насаждениях резко повышается пожарная опасность (Залесов, Миронов, 2004; Залесов, Залесова, 2014; Залесов, 2021). Произрастают в указанных условиях, древесные растения начинают отставать в росте и развитии, уменьшаются их параметры (прирост побегов, величина листовой пластиинки, высота и др.), у них

раньше начинается изреживание кроны, а признаки старения проявляются в таком возрасте, который в естественных природных условиях считается еще юношеским. По данным Е. Т. Мамаевой (1990), в городских условиях деревья стареют и даже гибнут с 30–50 лет, в то время как в естественных условиях этот момент наступает в 200–400 лет.

Указанное свидетельствует о необходимости своевременного обнаружения ослабленных деревьев и принятия адекватных мер для недопущения их отмирания, потери насаждениями устойчивости и рекреационной привлекательности.

Цель, объекты и методика исследований

Цель исследований – установление признаков ослабления деревьев в лесных парках г. Екатеринбурга и разработка на этой основе предложений по проведению лесоводственных мероприятий в лесных парках.

Объектом исследований служили сосновые насаждения трех лесных парков г. Екатеринбурга ягодникового и разнотравного типов леса.

В основу исследований положен метод постоянных пробных площадей (ППП). ППП закладывались в соответствии с действующими нормативными документами и апробированными методическими рекомендациями (ОСТ 56-69-83; Основы фитомониторинга, 2020; Данчева и др., 2023).

Помимо общепринятых в лесной таксации измерений на каждой из 10 заложенных ППП была установлена стадия рекреационной дигрессии по шкале, разработанной Н. С. Казанской (Казанская и др., 1977), а также определены категории санитарного состояния у каждого дерева в отдельности и у древостоя в целом согласно Постановлению... (2020). Кроме того, были установлены координаты всех ППП и описаны признаки ослабления деревьев.

Результаты и их обсуждение

Как было отмечено ранее, в процессе исследований было заложено десять ППП, размеры которых и места расположения приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Местоположение постоянных пробных площадей
Location of permanent trial areas

№ ППП № PSP	Лесопарк Forest Park	Квартал Quarter	Выдел Selected	Тип леса Forest type	Координаты Coordinates	Площадь, га Area, ha
1	Юго-Западный Southwest	97	3	С. яг. Berry pine forest	N 56° 47' 39,8", E 60° 32' 55,0"	0,39
2	Юго-Западный Southwest	97	15	С. ртр. Grassy pine forest	N 56° 47' 32,0", E 60° 33' 31,4"	0,29
3	Юго-Западный Southwest	99	29	С. ртр. Grassy pine forest	N 56° 47' 21,4", E 60° 35' 8,2"	0,49
4	Юго-Западный Southwest	94	18	С. яг. Berry pine forest	N 56° 48' 22,1", E 60° 31' 17,2"	0,29
5	Шарташский Shartashsky	58	41	С. ртр. Grassy pine forest	N 56° 50' 48,5", E 60° 41' 24,2"	0,27
6	Шарташский Shartashsky	58	19	С. яг. Berry pine forest	N 56° 50' 57,8", E 60° 40' 54,2"	0,34
7	Шарташский Shartashsky	52	23	С. ртр. Grassy pine forest	N 56° 53' 10,8", E 60° 43' 8,7"	0,39
8	Уктусский Uktussky	105	2	С. ртр. Grassy pine forest	N 56° 45' 41,7", E 60° 39' 21,8"	0,52
9	Уктусский Uktussky	105	10	С. ртр. Grassy pine forest	N 56° 45' 35,1", E 60° 39' 37,9"	0,48
10	Уктусский Uktussky	104	17	С. ртр. Grassy pine forest	N 56° 45' 20,5", E 60° 39' 0,7"	0,26

Как следует из материалов табл. 1, три ППП были заложены в насаждениях сосняка ягодникового и семь ППП – в насаждениях сосняка разнотравного.

Древостои насаждений ППП были представлены практически чистыми сосняками с крайне незначительной долей березы повислой, лиственницы Сукачева и липы мелколистной (табл. 2).

Возраст древостоев ППП варьировался от 115 до 135 лет при запасе древесины от 264 до 552 м³/га. Насаждения характеризовались II–IV классами бонитета при относительной полноте 0,6–0,9. Особо следует отметить, что доля сухостоя не превышала 13 м³/га. При этом сухостой был представлен единичными деревьями.

Пробные площади характеризовались различным рекреационным воздействием, о чем свидетельствуют показатели стадий рекреационной дигрессии (табл. 3).

Как следует из материалов табл. 3, интенсивность рекреационного воздействия слабо влияет на устойчивость спелых сосновых древостоев ягодникового и разнотравного типов леса. Так, средневзвешенная категория санитарного состояния на ППП 1 составляет 1,89 при первой стадии рекреационной дигрессии, в то время как на ППП 7 при четвертой стадии дигрессии средневзвешенная категория санитарного состояния – 2,15. Другими словами, и в том и в другом случае санитарное состояние насаждения оценивается как ослабленное (Постановление..., 2020).

Особый интерес представляют данные о наличии признаков ослабления у деревьев на ППП (табл. 4).

Материалы табл. 4 свидетельствуют, что на ППП было зафиксировано 18 признаков ослабления: гниль, пятнистость на листьях, ведьмина метла, смолотечение, опухоль, язва, дехромация хвои, ажурность кроны, усыхание ветвей в кроне, суховершинность, флагообразная крона, наклон ствола, деформация ствола, морозобоины, механические повреждения ствола, повреждение корней, пожарные раны, дупла.

К наиболее часто встречающимся признакам ослабления деревьев в лесных парках можно отнести усыхание ветвей (31 % всех обследованных деревьев), механические повреждения – 27 %, гнили – 15 %. Редко встречаются пожарные раны – 2 %, повреждение корней – 1 % и суховершинность – 1 %. Ведьмины метлы встречаются только на березе. Однако доля деревьев березы с ведьминими метлами составляет 21 % при доле деревьев с пятнистостью листьев 10 %.

Насаждения всех ППП характеризуются редким подлеском или его отсутствием, что позволяет рекреантам беспрепятственно перемещаться по территории, несмотря на наличие дорожно-тропиночной сети. Указанное свидетельствует, что, помимо своевременного проведения санитарно-оздоровительных мероприятий, необходимо увеличить густоту подлеска. Последнее будет способствовать ограничению бесконтрольного перемещения рекреантов и снизит уплотненности почвы. Кроме того, подлесочные виды привлекут в лесные парки птиц и будут способствовать повышению плодородия почвы.

Таблица 2
Table 2

Основные таксационные показатели древостояев ПСП
The main taxation indicators of PSP stands

№ ПСП № PSP	Состав Composition	Порода Tree species	Возраст, лет Age, years	Средние диаметр, см diameter, cm	Класс бонита Bonit's class	Сумма площадей сечений, м ² /га The sum of the cross-sectional areas, m ² /ha	Относительная полнота Relative completeness	Густота, шт./га Density, pcs./ha	Запас, м ³ /га Reserve, m ³ /ha	
									общий common	в т. ч. сухостоя including deadwood
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 10СедБ 10Прар.В	Сосна Pine	120	40,3	27,8	2	36,3915	0,8	285	440	11
	Береза Birch	—	14,1	17,6	—	0,3254	0,0	21	3	0
	Итого Total	—	—	—	—	—	36,7168	0,8	306	443
2 10С+Б 10Р+В	Сосна Pine	125	38,0	25,4	2	37,5693	0,8	332	454	13
	Береза Birch	110	41,0	22,6	—	2,2395	0,1	17	23	0
	Итого Total	—	—	—	—	—	39,8088	0,9	349	476
3 10СедБ 10Прар.В	Сосна Pine	190	45,5	31,5	2	34,3281	0,7	211	450	10
	Береза Birch	—	20,0	15,7	—	0,0638	0,0	2	0	0
	Итого Total	—	—	—	—	—	34,3919	0,7	213	450
4 10СедБ 10Прар.В.	Сосна Pine	170	37,7	30,0	2	41,8124	0,9	375	544	13
	Береза Birch	—	21,4	16,4	—	0,9774	0,0	27	8	0
	Итого Total	—	—	—	—	—	42,7897	0,9	403	552
5 10С 10Р	Сосна Pine	120	34,0	24,4	3	36,4836	0,8	401	394	4
	Итого Total	—	—	—	—	—	36,4836	0,8	401	394

Окончание табл. 2
The end of the table 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	10СедБ 10Прат.В	Сосна Pine	115	37,9	20,5	4	35,4747	0,9	314	360	6	353	
	Береза Birch	—	19,1	15,2	—	1,0041	0,0	35	8	1	1	8	
Итого Total	—	—	—	—	—	—	36,4788	0,9	349	368	7	361	
7	9С1Бел.Лп 9Пр1Бар.Лар., Lin.	Сосна Pine	135	41,0	24,6	3	28,1038	0,6	213	311	5	306	
	Береза Birch	—	35,4	22,3	—	3,7361	0,1	38	37	0	0	37	
Итого Total	—	—	—	—	—	—	0,0510	0,0	3	1	0	1	
8	10СедБ,Лп 10Прат.В,Л	Листвен- нина Larch	16,0	20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Липа Linden	—	26,1	16,9	—	—	0,5419	0,0	10	4	0	4	
Итого Total	—	—	—	—	—	—	32,4329	0,8	264	353	5	348	
9	10СедБ 10Прат.В	Сосна Pine	115	44,1	23,5	3	34,1318	0,8	223	375	1	374	
	Береза Birch	—	16,0	14,5	—	—	0,0386	0,0	2	0	0	0	
Итого Total	—	—	—	—	—	—	0,1546	0,0	2	2	0	2	
10	10С 10П	Липа	—	32,0	22,0	—	—	—	34,3250	0,8	227	376	1
	Сосна Pine	115	38,7	22,9	3	24,0427	0,6	205	260	0	260		
Итого Total	—	—	—	—	—	—	0,5176	0,0	15	4	0	4	
Итого Total	—	—	—	—	—	—	24,5603	0,6	220	264	0	264	
Итого Total	—	—	—	—	—	—	36,2308	0,8	427	460	6	454	
Итого Total	—	—	—	—	—	—	36,2308	0,8	427	460	6	454	

Таблица 3
Table 3

Показатели санитарного состояния и стадий дигрессии
сосновых насаждений ППП
Indicators of the sanitary condition and stages of digression
of pine plantations of PPP

№ ППП № PSP	Стадия рекреационной дигрессии Stage of recreational digression	Средневзвешенная категория состояния Weighted average condition category	Текущий отпад, % Current drop-off, %	Размер усыхания, % Shrinkage size, %
Сосняк ягодниковый Berry pine forest				
1	3	2,55	4,9	7,3
6	3	2,09	0,8	2,5
4	4	2,29	6,6	8,0
Сосняк разнотравный Mixed-grass pine forest				
9	1	1,89	1,7	1,7
2	2	2,26	4,0	6,4
3	2	2,27	1,1	3,4
5	2	2,06	3,1	3,6
8	2	1,96	0,6	0,9
10	3	2,46	4,5	5,1
7	4	2,15	1,4	2,4

Таблица 4
Table 4

Распределение признаков ослабления на постоянных пробных площадях
Distribution of signs of weakening in permanent test areas

№ ППП № PSP	Стадия рекреационной деградации Stage of recreational digestion	Количество деревьев, с признаками ослабления, шт./%*										Количество деревьев, с признаками ослабления, шт./%*																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Сосняк ягодниковый Berry pine forest																																								
1	3	$\frac{43}{34}$	—	—	$\frac{10}{8}$	$\frac{8}{6}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{53}{42}$	$\frac{26}{21}$	—	$\frac{8}{6}$	$\frac{13}{10}$	$\frac{9}{7}$	—	$\frac{7}{6}$	$\frac{44}{35}$	$\frac{3}{2}$	—																					
6	3	$\frac{22}{17}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{8}{6}$	—	$\frac{15}{12}$	$\frac{28}{22}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{10}{8}$	$\frac{8}{6}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{19}{15}$	$\frac{24}{19}$	$\frac{2}{2}$	—																					
4	4	$\frac{14}{11}$	$\frac{3}{2}$	—	$\frac{4}{3}$	$\frac{6}{5}$	—	$\frac{2}{2}$	$\frac{12}{10}$	$\frac{17}{14}$	$\frac{2}{2}$	—	—	—	—	$\frac{20}{16}$	$\frac{60}{49}$	$\frac{1}{1}$	—																					
Сосняк разногорловый Mixed-grass pine forest																																								
9	1	$\frac{3}{3}$	$\frac{7}{6}$	—	$\frac{3}{3}$	—	$\frac{4}{4}$	$\frac{4}{4}$	—	$\frac{4}{4}$	$\frac{49}{46}$	—	$\frac{8}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{11}{10}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{13}{12}$	—	$\frac{16}{15}$																				
2	2	$\frac{27}{24}$	—	$\frac{3}{3}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{2}{2}$	—	$\frac{27}{24}$	$\frac{37}{33}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{20}{18}$	$\frac{14}{12}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{31}{28}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$																					
3	2	$\frac{26}{24}$	—	—	$\frac{3}{3}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{28}{26}$	$\frac{23}{21}$	$\frac{2}{2}$	—	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{11}{10}$	—	—																					

Окончание табл. 4 *The end of the table 4*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	2	$\frac{22}{19}$	—	—	$\frac{9}{8}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{4}{3}$	—	$\frac{5}{4}$	$\frac{15}{13}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{20}{17}$	$\frac{15}{13}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{23}{20}$	$\frac{35}{31}$	—	—	—	
8	2	—	$\frac{2}{2}$	—	$\frac{2}{2}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{56}{47}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{7}{6}$	$\frac{12}{10}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{32}{27}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{7}{6}$	
10	3	$\frac{4}{3}$	—	—	$\frac{3}{2}$	—	—	—	$\frac{5}{4}$	$\frac{82}{70}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2}{2}$	—	$\frac{1}{1}$	$\frac{17}{14}$	—	$\frac{2}{2}$	
7	4	$\frac{10}{9}$	$\frac{3}{3}$	—	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2}{1}$	—	$\frac{2}{2}$	$\frac{23}{21}$	—	$\frac{4}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{5}{5}$	—	$\frac{5}{5}$	$\frac{44}{41}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{1}{1}$	
Итого, шт./% от общего числа обследованных деревьев																				
Total, pcs./% of the total number of surveyed trees																				
		$\frac{171}{15}$	$\frac{12}{1}$	$\frac{6}{0,5}$	$\frac{45}{4}$	$\frac{36}{3}$	$\frac{26}{2}$	$\frac{5}{0,5}$	$\frac{158}{14}$	$\frac{356}{31}$	$\frac{14}{1}$	$\frac{82}{7}$	$\frac{79}{7}$	$\frac{59}{5}$	$\frac{35}{3}$	$\frac{98}{8}$	$\frac{311}{27}$	$\frac{12}{1}$	$\frac{27}{2}$	

* От общего количества деревьев на III.

* Of the total number of trees per checkpoint

Выводы

1. Сосновые насаждения в лесных парках г. Екатеринбурга характеризуются различными рекреационными нагрузками.

2. Спелые сосновые насаждения разнотравного и ягодникового типов леса устойчивы против рекреационных нагрузок. Показатели средневзвешенных категорий санитарного состояния не превышают 2,5 при 1–4 стадиях рекреационной дигрессии, т. е. относятся к ослабленным лесным насаждениям.

3. Визуально зафиксировано 18 признаков ослабления деревьев в лесных парках. Однако доминирующими являются усыхание ветвей, механические повреждения и гнили.

4. В целях повышения рекреационной устойчивости насаждений лесных парков можно порекомендовать, помимо своевременного проведения санитарных мероприятий, введение подлесочных видов, что позволит снизить бесконтрольное перемещение рекреантов по территории лесных парков и тем самым уменьшить уплотнение почвы.

Список источников

- Бунькова Н. П., Залесов С. В. Ведение лесного хозяйства в рекреационных лесах. Екатеринбург : УГЛТУ, 2024. 129 с.
- Бунькова Н. П., Залесов С. В. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарке г. Екатеринбурга. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 124 с.
- Данчева А. В., Залесов С. В. Оценка состояния сосновых насаждений в лесопарке г. Екатеринбурга. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 124 с.
- Данчева А. В., Залесов С. В. Оценка состояния сосновых насаждений в лесопарке г. Екатеринбурга. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 124 с.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Муханов Б. М. Влияние рекреационных нагрузок на биометрические параметры ассимиляционного аппарата сосновых древостоев // Вестник Московского гос. ун-та леса – Лесной вестник. 2015. № 2. С. 44–50.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг : учеб. пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 146 с.
- Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке : экономические модели, новые технологии и практики управления / Я. П. Силин, Г. В. Астратова [и др.]. М. ; Екатеринбург : Науковедение, 2017. 600 с.
- Залесов С. В. Лесная пирология. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2021. 396 с.
- Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (дата обращения: 20.07.2025).
- Залесов С. В., Данчева А. В., Залесова Е. С. Рекреационное лесоводство. Термины, понятия, определения : учеб. справочник. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 52 с.
- Залесов С. В., Залесова Е. С. Лесная пирология. Термины, понятия, определения : учеб. справочник. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 54 с.
- Залесов С. В., Колтунов Е. В. Корневые и стволовые гнили сосновой *(Pinus sylvestris L.)* и березы повислой *(Betula pendula Roth.)* в Нижне-Исетском лесопарке г. Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала. 2009. № 1 (55). С. 73–75.
- Залесов С. В., Колтунов Е. В., Лашевцев Р. Н. Основные факторы пораженности сосновой корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках // Защита и карантин растений. 2008. № 2. С. 56–58.
- Залесов С. В., Миронов М. П. Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. 138 с.
- Казанская Н. С., Ланина В. В., Марфенин Н. Н. Рекреационные леса. М. : Лесн. пром-сть, 1977. 96 с.

- Качество жизни: вчера, сегодня, завтра. Актуальные проблемы вступления России в ВТО / Г. В. Астратова, А. В. Мехренцев, Л. И. Пономарева [и др.]. Екатеринбург : Стратегия позитиваTM, 2012. 520 с.
- Качество жизни: проблемы и перспективы XXI века / Г. В. Астратова, А. В. Мехренцев, М. И. Хрущева [и др.]. Екатеринбург : Стратегия позитиваTM, 2013. 532 с.
- Колтунов Е. В., Залесов С. В., Демчук А. Ю. Корневые и стволовые гнили и состояние древостоев Шарташского лесопарка г. Екатеринбурга в условиях различной рекреационной нагрузки // Аграрный вестник Урала. 2011. № 8 (87). С. 40–43.
- Колтунов Е. В., Залесов С. В., Лашевцев Р. Н. Корневая и стволовая гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесопарках г. Екатеринбурга // Леса России и хозяйство в них : сб. науч. тр. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. Вып. 1 (29). С. 247–261.
- Коростелев А. С., Залесов С. В., Годовалов Г. А. Недревесная продукция леса. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. 480 с.
- Мамаева Е. Т. Естественная древесная растительность в городской среде // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала. Свердловск : УрО АН СССР, 1990. С. 73–78.
- Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах : Постановление Правительства Российской Федерации от 09.12.2020 г. № 2047. URL: <https://base.garant.ru/75037636/> (дата обращения: 20.07.2025).
- Основы фитомониторинга / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М., 1983. 60 с.

Reference

- Bunkova N. P., Zalesov S. V. Forest management in recreational forests. Yekaterinburg : UGLTU, 2024. 129 p.
- Bunkova N. P., Zalesov S. V. Recreational stability and capacity of pine plantations in the Yekaterinburg forest Park. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 124 p.
- Dancheva A. V., Zalesov S. V. Assessment of the state of recreational pine forests of the Kazakh small-scale forest by projective coating of pine trunks with epiphytic lichens // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 12 (154). P. 27–31. (In Russ.)
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Mukanov B. M. The influence of recreational loads on the biometric parameters of the assimilation apparatus of pine stands // Bulletin of the Moscow State University of Forests – Lesnoy Vestnik. 2015. № 2. P. 44–50. (In Russ.)
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S. Forest ecological monitoring : a textbook. Yekaterinburg : UGLTU, 2023. 146 p.
- Fundamentals of phytomonitoring / N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, E. S. Zalesova [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 90 p.
- Housing and communal services and the quality of life in the 21st century: economic models, new technologies and management practices / Ya. P. Silin, G. V. Astratova [et al.]. Moscow ; Yekaterinburg : Naukovedenie, 2017. 600 p.
- Kazanskaya N. S., Lanina V. V., Marfenin N. N. Recreational forests. Moscow : Lesnaya industriya, 1977. 96 p.
- Koltunov E. V., Zalesov S. V., Demchuk A. Yu. Root and stem rot and the state of stands of the Shartashsky forest Park in Yekaterinburg under conditions of various recreational loads // Agrarian Bulletin of the Urals. 2011. № 8 (87). P. 40–43. (In Russ.)
- Koltunov E. V., Zalesov S. V., Laishevsev R. N. Root and trunk rot of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the forest parks of Yekaterinburg // Forests of Russia and the economy in them : Collection of scientific tr. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2007. Issue 1 (29). P. 247–261. (In Russ.)
- Korostelev A. S., Zalesov S. V., Godovalov G. A. Non-timber forest production. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2010. 480 p.

- Mamaeva E. T. Natural woody vegetation in the urban environment // Natural vegetation of industrial and urbanized territories of the Urals. Sverdlovsk : Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1990. P. 73–78. (In Russ.)
- On approval of the Rules of sanitary safety in forests : Decree of the Government of the Russian Federation dated December 9, 2020, № 2047. URL: <https://base.garant.ru/75037636/> (accessed 20.07.2025).
- OST 56-69-83. Area trial forestry. Masonry methods. Moscow, 1983. 60 p. (In Russ.)
- Quality of life: problems and prospects of the 21st century / G. V. Astratova, A. V. Mehrentsev, M. I. Khrushcheva [et al.]. Yekaterinburg : Strategy positiva™ Group of Companies, 2013. 532 p.
- Quality of life: yesterday, today, tomorrow. Actual problems of Russia's entry into the Higher School of Economics / G. V. Astratova, A. V. Mehrentsev, L. I. Ponomareva [et al.]. Yekaterinburg : Publishing house of the Group of Companies "Strategy of Positivism", 2012. 520 p.
- Zalesov S. V. Forest pyrology. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2021. 396 p.
- Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. The state of forest plantations affected by industrial pollutants of Karabashmed CJSC and the reaction of their components to logging. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (accessed 20.07.2025).
- Zalesov S. V., Dancheva A. V., Zalesova E. S. Recreational forestry. Terms, concepts, definitions : a textbook. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 52 p.
- Zalesov S. V., Koltunov E. V. Root and stem rot of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and hanging birch (*Betula pendula* Roth.) in the Nizhne-Isetsky forest Park of Yekaterinburg // Agrarian Bulletin of the Urals. 2009. № 1 (55). P. 73–75. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Koltunov E. V., Lapshevts R. N. The main factors affecting pine by root and trunk rot in urban parks // Protection and quarantine of plants. 2008. № 2. P. 56–58. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Mironov M. P. Detection and extinguishing of forest fires. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2004. 138 p.
- Zalesov S. V., Zalesova E. S. Forest pyrology. Terms, concepts, definitions : a textbook. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2014. 54 p.

Информация об авторах

A. B. Щеплягина – аспирант;

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

М. В. Воробьева – кандидат биологических наук, доцент;

М. Е. Семенова – аспирант.

Information about the authors

A. V. Shcheplyagina – graduate student;

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

M. V. Vorobyova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor;

M. E. Semenova – graduate student.

Статья поступила в редакцию 25.07.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 25.07.2025; accepted for publication 15.09.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 37–51.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 37–51.

Научная статья

УДК: 630*181.3:581.1

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.004

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ПОДРОСТА ЕЛИ В СОКОЛЬСКОМ БОРУ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «РУССКИЙ СЕВЕР»

Лилия Валерьевна Зарубина¹, Виктория Андреевна Зайцева²,
Юлия Андреевна Платонова³, Людмила Викторовна Кузнецова⁴

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

⁴ Национальный парк «Русский Север», Кириллов, Россия

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

² selizeonka@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7692-2314>

³ qwplatonova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6012-1500>

⁴ priroda.russever@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2690-9004>

Аннотация. За последние годы по мере обострения экологических проблем, которые тесно связаны с эксплуатацией лесных ресурсов местным населением и туристами, происходит деградация и разрушение уникальных природных экосистем. В связи с этим возникает необходимость своевременного выявления негативных изменений в физиологическом состоянии экосистем и дальнейшей их защите и охране. Цель исследования – изучение водного режима естественного возобновления ели, как показателя, характеризующего физиологическое состояние растительного организма. Объектами исследования стали пять участков сосновых древостоев, близких по возрасту и таксационной характеристике, относящихся к зеленомошной группе типов леса, и участок елового насаждения, находящийся на территории Сокольского бора в национальном парке «Русский Север». При закладке пробных площадей и их оценке руководствовались методиками, общепринятыми в таксации и лесоводстве. По качественной характеристике состояния насаждений на пробных площадях и категории санитарного состояния насаждения характеризуются как ослабленные. Отмечено, что подрост хвойных пород на всех опытных участках по жизненному состоянию является сомнительным, по густоте – редким. Установлено, что у подроста ели водный дефицит на среднем на уровне 15 %, что не является критичным для роста и развития растений. Анализируя зависимость интенсивности транспирации и освещенности под пологом леса на объектах исследования, можно отметить, что между ними имеется сильная положительная связь.

Ключевые слова: хвойные насаждения, естественное возобновление, влажность хвои, водный дефицит, влагонасыщение, освещенность, интенсивность транспирации

Для цитирования: Физиологические особенности роста и развития подроста ели в Сокольском бору национального парка «Русский Север» / Л. В. Зарубина, В. А. Зайцева, Ю. А. Платонова, Л. В. Кузнецова // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 37–51.

Original article

PHYSIOLOGICAL FEATURES OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF SPRUCE UNDERGROWTH IN THE SOKOLSKIY FOREST OF THE NATIONAL PARK “RUSSIAN NORTH”

Liliya V. Zarubina¹, Victoria A. Zaitseva², Yulia A. Platonova³,
Lyudmila V. Kuznetsova⁴

¹⁻³ FSBEI HE Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin,
the village of Molochnoye, Russia

⁴ FSBI National Park «Russian North», Kirillov, Russia

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

² selizeonka@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7692-2314>

³ qwplatonova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6012-1500>

⁴ priroda.russever@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2690-9004>

Abstract. In recent years, as environmental problems have become more severe, which are closely related to the exploitation of forest resources by local population and tourists, there has been a degradation and destruction of unique natural ecosystems. In this regard, there is a need to identify negative changes in the physiological state of ecosystems in a timely manner and to protect and preserve them. The purpose of this research is to examine the water regime of natural spruce regeneration as an indicator of the physiological state of the plant organism. The research objects were five plots of pine forests that are similar in age and taxation characteristics, belonging to the green moss group of forest types, and the plot of spruce forests located in the Sokolsky Forest National Park «Russian North». When laying out the sample plots and evaluating them, we were guided by methods generally accepted in taxation and forestry. Based on the assessment of the quality characteristics of the plantations in the sample plots and the category of sanitary condition, the plantations were classified as weakened. It was noted that the undergrowth of coniferous species in all the experimental plots was in a questionable state of vitality and sparse in terms of density. It was also established that the undergrowth of spruce had an average water deficit of 15 %, which is not critical for the growth and development of the plants. Analyzing the dependence between transpiration intensity and illumination under the forest canopy, it can be observed that there is a strong positive correlation between them.

Keywords: coniferous plantations, natural regeneration, needle moisture, water deficit, moisture saturation, illumination, transpiration intensity

For citation: Physiological features of growth and development of spruce undergrowth in the Sokolskiy forest of the national park “Russian North” / L. V. Zarubina, V. A. Zaitseva, Yu. A. Platonova, L. V. Kuznetsova // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 37–51.

Введение

В связи с обострением экологической ситуации в настоящее время существенно возросло внимание к последствиям интенсивной деятельности человека, особенно в аспекте лесозаготовительной индустрии. Это влияние приводит к нарушениям в структуре и функционировании природных экосистем, затрагивая обширные территории и водные пространства. В результате возникает

потребность в защите уникальных природных участков нашей планеты. Для противодействия усиливающейся эксплуатации природы и ее отрицательным последствиям было инициировано создание защищенных территорий. Эти зоны, обладающие высокими консервационными значениями, теперь попадают под охрану, которая регулируется на локальном и глобальном уровнях, что помогает в сохранении биоразнообразия

и поддержании экологического баланса. Данные действия призваны предотвратить дальнейшее ухудшение состояния окружающей среды и обеспечить устойчивое использование природных ресурсов. Концепция защитных территорий предполагает не только предотвращение дальнейшего ухудшения экологической обстановки, но и разработку методов восстановления уже нанесенного вреда. Таким образом, охраняемые зоны выступают фундаментом для долгосрочной стратегии сохранения окружающей среды, а также являются критически важными для поддержания уникального характера и целостности наших природных экосистем (Реймерс, 1978).

Национальный парк «Русский Север» находится в северной части Вологодской области, на Восточно-Европейской равнине. Он приковывает взгляды своей природной красотой. Величественные просторы равнины, охватывающие значительную часть России, задают особый темп жизни местной флоре и фауне, создавая для них уникальную среду обитания. Национальный парк славится не только своей географической позицией, но и умеренным климатом, где воздействие близкого Атлантического океана создает условия для выражительной сезонности. Результат этого влияния – картина меняющихся времен года, каждое из которых вносит свой неповторимый оттенок в палитру ландшафта. Эта мозаика климатических свойств еще более усиливается за счет огромных водных площадей, озер и болот в локальных районах парка, которые заметно модифицируют его климатические черты (Национальный парк..., 2025). Парк, раскинувшийся на огромной территории в 168,02 тыс. га, представляет собой уникальное природное наследие. Он имеет функциональные зоны с различными целями использования и уровнями охраны. В нем выделяются:

- заповедная зона;
- особо охраняемая зона;
- рекреационная зона;
- зона хозяйственного назначения;
- зона охраны объектов культурного наследия.

Все леса национального парка отнесены к защитным лесам (Лесной кодекс, 2006). Географически национальный парк находится в зоне

Балтийско-Белозерской тайги, что подтверждается классификацией лесного районирования (Приказ..., 2014). Важно отметить, что лесные массивы парка, охватывающие 144,5 тыс. га земли, признаны защитными территориями. Этот статус обеспечивает их сохранность и предотвращает негативное влияние человеческой деятельности. Помимо прочего, защита подобных территорий является критически важной для поддержания биологического разнообразия и экологического баланса. Лесные массивы занимают 86 % территории, это подчеркивает значительный вес лесных экосистем в структуре заповедных зон. Помимо типичных лесных массивов, в парке присутствует и более редкая категория территорий – нелесные земли, составляющие 14 %, или 23,52 тыс. га. Внимание привлекают и характерные для данной местности типы ландшафтов. Основу среди них составляют черничные, долгомошные, травяно-болотные типы местопроизрастания. Эти типы ландшафтов занимают в сумме порядка 64 % лесистой части парка, что свидетельствует о доминировании данных экосистем (Национальный парк..., 2025).

В границах национального парка насчитывается широкое разнообразие древесных пород, особенно хвойных, которые выросли и адаптировались к местным условиям. Растительность отличается высокой экономической ценностью, особенно за счет присутствия сосняков и ельников, которые выделяются среди других экосистем. Уникальность и богатство флоры национального парка не только предоставляет великолепные возможности для экотуризма, но и является объектом защиты и изучения (Национальный парк..., 2025).

Цель, методика и объекты исследования

Цель работы – изучение водного режима подроста ели как показателя, характеризующего физиологическое состояние растительного сообщества, для определения перспективности его сохранения в уникальном природном объекте Вологодской области.

Для изучения водного режима подроста ели на территории Сокольского бора, который является

частью национального парка «Русский Север», было заложено шесть пробных площадей. Эти участки находятся на побережье Волго-Балтийского канала на незначительной удаленности друг от друга. Расстояние от водного объекта до центра объектов варьирует от 30 до 160 м. В табл. 1 представлена характеристика исследовательских участков.

Закладка пробных площадей проведена в соответствии с ОСТ 56-69-83. Для изучения процессов накопления подроста в пределах насаждения используется метод круговых площадок. Подрост

хвойных пород подразделяется на три категории: жизнеспособный, сомнительный и нежизнеспособный. В соответствии с ОСТ 56-81-84 на каждой пробной площади в наиболее типичном месте размещают почвенный разрез (Роде, 1963).

Для определения влажности хвои елового подроста образцы высушивают в алюминиевых бюксах при температуре 100–105 °С. Сушка проводится в сушильных шкафах до постоянного веса образцов. После сушки образцы охлаждаются в эксикаторах и взвешиваются (Евстигнеев, 1996).

Таблица I
Table I

Таксационная характеристика объектов исследования
Taxation characteristics of research objects

Состав Composition	Средние Medium		Класс бонитета Bonitet class	G_ϕ м ² /га G_a м ² /га	P_{omn} P_{rel}	Возраст, лет Age, years	Кол-во экземпляров, шт./га Number of samples, pcs./ha	M, м ³ /га M, m ³ /ha	Категория санитарного состояния Category of sanitary condition
	D_{cp} , см D_{av} , sm	H_{cp} , м H_{av} , m							
1 пробная площадь (C_{uep}) 1 sample plots (blueberry pine forest)									
9C1ЕедБ 9p1SpедВ	32,3	24,2	I	29,0	0,81	73	659	308	2,28
2 пробная площадь ($C_{öp}$) 2 sample plots (cowberry pine forest)									
10СедЕедБ 10PsinSpВ	26,7	22,7	II	35,5	0,90	74	642	382	1,80
3 пробная площадь (E_{uep}) 3 sample plots (blueberry spruce forest)									
7E3С 7Sp3Р	29,5	22,0	II	30,7	0,70	83	446	286	1,85
4 пробная площадь (C_{uep}) 4 sample plots (blueberry pine forest)									
7C3БедЕ 7P3BsinE	22,8	22,0	II	30,9	0,81	75	632	307	1,21
5 пробная площадь ($C_{öp}$) 5 sample plots (cowberry pine forest)									
8C1Е1Б 8P1Sp1В	23,5	19,7	II	29,8	0,81	74	694	278	2,50
6 пробная площадь ($C_{öp}$) 6 sample plots (cowberry pine forest)									
9C1БедЕ 9P1BsinSp.	29,6	20,2	II	29,2	0,76	74	642	310	2,71

Интенсивность транспирации изучалась методом двухкратного быстрого взвешивания образцов (Иванов, 1950) с применением торсионных весов ВТ-1000 с 9–12-кратной повторностью в теплую солнечную погоду. Для опыта готовились образцы от 3–5 постоянных деревьев на каждой пробной площади. Результаты выражались в мг Н₂О на 1 г свежей массы хвои в час. Экспозиция опыта – 2–3 мин. Реальный водный дефицит хвои устанавливался путем донасыщения ее дистиллированной водой в течение суток с последующим высушиванием в термостатах при температуре 105 °С до момента, пока вес не перестанет изменяться (обычно от 3 до 4 ч) (Лархер, 1978; Зарубина, Коновалов, 2014).

На пробных площадях внутри растительных сообществ был изучен характер и изменчивость освещенности при помощи люксметра Ю-116 М на высоте 1,5 м по 35–40 перпендикулярно расположенным к солнцу точкам в околополуденные часы (Алексеев, 1975). На каждой пробной площади закладывались ленты по диагонали, на которых было сделано 30 замеров освещенности, вне зависимости от того, попадает измерение в просвет между кронами или нет. Параллельно с изучением освещенности в насаждениях были проведены замеры освещенности на открытом месте вдоль дорог.

Статистическая обработка данных проведена общепринятыми в лесоводстве и таксации методами. Результаты исследования являются достоверными благодаря значительному объему экспериментальных данных и использованию современного компьютерного программного обеспечения (Гусев, 2002).

Средний балл санитарного состояния в сосновом древостое 2,81, что характеризует насаждение как ослабленное (Правила..., 2020). Стоит отметить, что в основном влияние оказало санитарное состояние деревьев на 5-й и 6-й пробных площадях. В мае 2021 г. данные участки пострадали от сильного урагана, что существенно снизило показатель санитарного состояния насаждений. В еловом насаждении средний балл санитарного состояния равен 1,85, что соответствует здоровому древостою.

Объектами исследования являются пять участков сосновых древостоев, близких по возрасту и таксационной характеристике, относящихся к зеленомошной группе типов леса, и участок елового насаждения. В сосняках почвы характеризуются как среднеподзолистые, песчаные иллювиально-железистые на оглеенных флювиогляциальных песках. В ельнике черничном почвообразующая порода представлена моренным суглинком. Почва слабоподзолистая, развивающаяся на легком суглинке, подстилаемом мелкопесчаным моренным суглинком.

Результаты и их обсуждение

Учет естественного возобновления на объектах исследования показал, что в Сокольском бору под пологом древостоя преобладает молодое поколение ели. Характеристика подроста по категориям жизнеспособности на пробных площадях представлена в табл. 2 (Платонова и др., 2020а, б).

Подрост хвойных пород практически на всех опытных участках по жизненному состоянию характеризуется как сомнительный, а по густоте – редкий (Правила..., 2021).

Вода – это главный компонент активных растительных клеток, на долю ее приходится до 90 % сырого веса. В зрелых растительных клетках большая часть воды содержится в крупной центральной вакуоли, занимающей 80–90 % всего объема клетки. Водонасыщенность тканей служит важной экологической характеристикой условий местопроизрастания растений, степени обеспеченности их почвенной влагой (Зарубина, Коновалов, 2014).

Водный режим растений является важным элементом общего обмена веществ. Высокая обводненность – необходимое условие для нормальной работы ассимиляционного аппарата. Хвоя является структурной единицей побега, жизнедеятельность которой во многом определяет продуктивность дерева (Сенькина 2009; Карасев, Карасева, 2011; Water..., 2011; Зарубина, Коновалов, 2014; Сазонова, Придача, 2020). Для исследования водного режима было взято по три образца хвои из трех частей кроны. Интенсивность водонасыщения хвои подроста ели представлена в табл. 3.

Table 2

Характеристика хвойного подроста на опытных объектах (шт.)
Characteristics of coniferous undergrowth at experimental sites (pcs.)

Примечание. ПП – пробная площадь; Ж – жизнеспособный, С – сомнительный, НЖ – нежизнеспособный, $C_{чep}$ – сочняк черничный, $C_{бр}$ – сочняк брусничный,

Echer — ельник черничный.

Note. *PP* – permanent plots, *V* – viable, *Q* – questionable, *Nv* – not viable, *P_b* – blueberry pine, *P_{cow}* – cowberry pine, *SP_{bl}* – blueberry spruce.

Таблица 3
Table 3Интенсивность водонасыщения хвои подроста ели
Intensity of water saturation of spruce needles

Показатели Indicators	Объект исследований The object of research								
	1 ПП $C_{чep}$ 1 РР P_{bl}			2 ПП $C_{öp}$ 2 РР P_{cow}			3 ПП $E_{чep}$ 3 РР SP_{bl}		
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Исходная (полевая) масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	2,31	2,63	2,04	1,98	2,00	1,88	1,93	1,91	1,78
1 день, г 1 day, g	2,52	2,67	2,05	2,24	2,17	1,98	2,21	1,98	1,91
2 день, г 2 day, g	2,53	2,71	2,08	2,27	2,25	2,06	2,26	2,06	1,96
3 день, г 3 day, g	2,56	2,75	2,12	2,32	2,32	2,07	2,29	2,06	1,99
Интенсивность насыщения хвои водой, % The intensity of saturation of needles with water, %									
Полевая Field	90,23	95,64	96,23	85,34	86,96	90,82	82,97	92,72	89,45
После насыщения, % After saturation, %									
1 день, г 1 day, g	98,44	97,09	96,7	96,55	94,35	95,65	96,07	96,12	95,98
2 день, г 2 day, g	98,83	98,55	98,11	97,84	97,83	99,52	98,69	100	98,49
3 день, г 3 day, g	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	4 ПП $C_{чep}$ 4 РР P_{bl}			5 ПП $C_{öp}$ 5 РР P_{cow}			6 ПП $C_{öp}$ 6 РР P_{cow}		
Исходная (полевая) масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	1,7	1,64	1,58	1,58	1,44	1,39	1,39	1,55	1,44
1 день, г 1 day, g	1,98	1,81	1,76	1,88	1,81	1,54	1,83	1,66	1,87
2 день, г 2 day, g	2,05	1,89	1,84	1,90	1,84	1,62	1,85	1,69	1,98
3 день, г 3 day, g	2,08	1,92	1,88	1,91	1,85	1,61	1,85	1,71	1,99

Окончание табл. 3
The end of the table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Интенсивность насыщения хвои водой, % The intensity of saturation of needles with water, %									
Полевая Field									
81,73	86,32	84,04	82,72	77,84	86,34	75,14	90,64	72,36	
После насыщения, % After saturation, %									
1 день, г 1 day, g	95,19	95,26	93,62	98,43	97,3	95,65	98,92	97,08	93,97
2 день, г 2 day, g	98,56	99,47	97,87	99,48	99,46	99,38	100	98,83	99,5
3 день, г 3 day, g	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. ПП – пробная площадь; $C_{чep}$ – сосняк черничный, $C_{бp}$ – сосняк брусничный, $E_{чep}$ – ельник черничный.
Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce.

Масса 100 шт. хвоинок во всех частях кроны наибольшая в сосняке черничном на ПП 1, и с изменением типа леса она снижается. Полевая насыщенность хвои водой у подроста более 85 % на всех пробных площадях. Необходимо отметить, что наибольшее количество воды хвоя подроста поглощает в первые сутки намачивания (от 93,64 до 98,44 %), в последующие дни масса увеличивается несущественно, прибавляя от 0,01 до 7,5 %, в основном происходит ее набухание.

Основная масса воды испаряется в первые 2 ч (до 50 % от общей массы хвои). На 1-, 2-, 3-й пробных площадях для высушивания 100 шт. хвоинок из верхней части кроны до абсолютно сухого состояния потребовалось на час больше, чем для других образцов. Это можно объяснить тем, что изначально содержание влаги в полученных образцах было выше.

Нормальная жизнедеятельность растения обусловлена достаточной влажностью хвои. Поступление воды в растягивающиеся клетки и их вакуолизация возможны лишь в результате активной работы корней, поэтому в период роста молодых побегов корни должны обладать высокой активной способностью поглощать влагу из почвы (Коновалов, Зарубина, 2002; Мухаметова и др., 2020).

Наибольшей влажностью обладает хвоя средней части кроны (от 45,14 до 60,42 %), наименьшей – хвоя нижней части кроны (от 46,04 до

55,39 %), но различия между ними статистически не доказаны (табл. 4). По нашим данным можно отметить, что обводненность хвои не зависит ни от высоты, ни от возраста деревца, но изменяется в зависимости от типа леса. Вода является главной составной частью в хвое первого года (более 50 %), так как именно в ней более интенсивно протекают метаболические процессы. По мере старения хвои влажность ее снижается, что связано с уменьшением водопоглощающих и водоудерживающих свойств биоколлоидов тканей растений (Коновалов, Зарубина, 2002).

Водный дефицит является важным диагностическим показателем жизненного состояния растения (табл. 5). Увеличение водного дефицита влияет практически на все физиологические процессы – поступление воды, закрывание устьиц, транспирацию, фотосинтез, дыхание и др. Физиологические процессы без заметных нарушений могут протекать при открытых устьицах лишь при сравнительно небольшом (3–14 %) водном дефиците (Зарубина, Коновалов, 2014).

Оптимальным для фотосинтеза является не полное насыщение тканей водой, а водный дефицит от 5 до 20 % от полного насыщения. Согласно данным Л. И. Гордеевой и А. В. Веретенникова, депрессия физиологических процессов у ели обычно наступает при водном дефиците 27,5 % (Гордеева, Веретенников, 1976).

Таблица 4
Table 4Влажность хвои елового подроста
Humidity of spruce needles

Время сушки Drying time	Объект исследования The object of research								
	1 ПП C_{cep} 1 PP P_{bl}			2 ПП $C_{\delta p}$ 2 PP P_{cow}			3 ПП E_{cep} 3 PP SP_{bl}		
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	
Исходная масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	2,31	2,63	2,04	1,98	2,00	1,88	1,9	1,91	1,78
2 часа 2 hours	1,23	1,38	1,00	1,24	1,10	0,99	1,03	0,99	0,89
3 часа 3 hours	1,12	1,27	0,96	1,08	0,99	0,91	0,98	0,95	0,79
4 часа 4 hours	0,89	1,04	0,91	1,07	0,93	0,87	0,98	0,91	0,77
Влажность хвои, % Humidity of the needles, %	61,47	60,46	55,39	45,96	53,50	53,72	48,42	52,36	56,74
Исходная масса 100 шт. хвоинок, г Initial weight of 100 pieces needles, g	4 ПП C_{cep} 4 PP P_{bl}			5 ПП $C_{\delta p}$ 5 PP P_{cow}			6 ПП $C_{\delta p}$ 6 PP P_{cow}		
	1,70	1,64	1,58	1,58	1,44	1,39	1,39	1,55	1,44
2 часа 2 hours	0,91	0,84	0,79	0,91	0,85	0,81	0,75	0,69	0,77
3 часа 3 hours	0,85	0,8	0,76	0,89	0,79	0,75	0,74	0,65	0,75
4 часа 4 hours	0,84	0,79	0,76	0,89	0,79	0,75	0,74	0,65	0,74
Влажность хвои, % Humidity of the needles, %	50,59	51,83	51,9	43,67	45,14	46,04	46,76	58,06	48,61

Примечание. ПП – пробная площадь; C_{cep} – сосняк черничный, $C_{\delta p}$ – сосняк брусничный, E_{cep} – ельник черничный.
Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce.

Наше исследование показало, что у подроста ели в сосняке брусничного типа условий место-произрастания (ПП 6) водный дефицит составляет 26,6 %, что позволяет охарактеризовать состояние подроста на данном участке как близкое к депрессии. На остальных участках водный дефицит оста-

ется в среднем на уровне 13–18 %, что не является критичным. Для определения статистических различий средних величин влажности хвои и водного дефицита использовали t -критерий Стьюдента (табл. 6).

Таблица 5
Table 5Водный дефицит хвои подроста ели
Water deficiency in spruce needles

Показатели Indicators	Объект исследований The object of research								
	1 ПП $C_{чep}$ 1 PP P_{bl}			2 ПП $C_{бp}$ 2 PP P_{cow}			3 ПП $E_{чep}$ 3 PP SP_{bl}		
	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	Нижняя часть кроны The lower part of the crown	Верхняя часть кроны The upper part of the crown	Средняя часть кроны The middle part of the crown	
Полевое насыщение хвои водой, % Field saturation of needles with water, %	90,23	95,64	96,23	85,34	86,96	90,82	82,97	92,72	89,45
Водный дефицит, % Water shortage, %	9,77	4,36	3,77	14,66	13,04	9,18	17,03	7,28	10,55
	4 ПП $C_{чep}$ 4 PP P_{bl}			5 ПП $C_{бp}$ 5 PP P_{cow}			6 ПП $C_{бp}$ 6 PP P_{cow}		
Полевое насыщение хвои водой, % Field saturation of needles with water, %	81,73	86,32	84,04	82,72	77,84	86,34	75,14	72,64	72,36
Водный дефицит, % Water shortage, %	18,27	13,68	15,96	17,28	22,16	13,66	24,86	27,36	27,64

Примечание. ПП – пробная площадь; $C_{чep}$ – сосняк черничный, $C_{бp}$ – сосняк брусничный, $E_{чep}$ – ельник черничный.
Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce.

По данным табл. 6 видно, что при вероятности безошибочного заключения 95 % различия между данными участками практически отсутствуют ($t_{st0,95} = 2,2$). Благодаря сложной системе регуляции растение способно адаптировать интенсивность транспирации к изменяющимся условиям окружающей среды, что позволяет поддерживать оптимальный водный режим и обеспечивать нормальное функционирование всего организма (Веретенников, 1987).

Транспирация обеспечивает превращение воды из жидкого состояния в парообразное, защищает растения от перегрева, поддерживая температуру листьев на несколько градусов ниже окружающей среды, создает непрерывный ток воды, препят-

ствует полному насыщению растительных клеток водой, что оптимизирует множество метаболических реакций, а также обеспечивает передвижение растворимых минеральных и частично органических питательных веществ от корней к другим частям растений (Чернышенко и др., 2017, Андронова, 2020). В процессе изучения транспирации на всех объектах нами проведено определение интенсивности освещенности. В день исследования (15.08.2022) была ясная, практически безоблачная погода, освещенность на открытом месте в среднем составила 58 500 лк. Измерения достоверны, получены с достаточно высокой точностью в 3–5 %, при этом изменчивость опытных данных незначительна (рисунок).

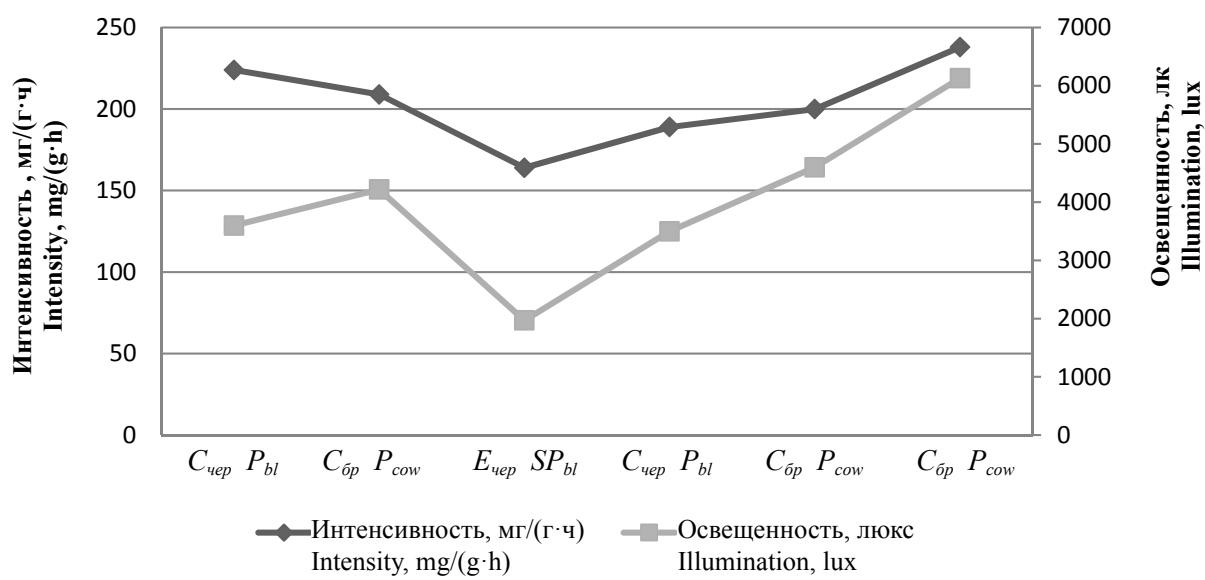
Таблица 6
Table 6

Статистические показатели влажности и водного дефицита хвои подроста ели
Statistical indicators of moisture content and water deficit of spruce undergrowth needles

Показатель Indicator	Объект исследования The object of research									
	1 ПП C_{cep} 1 PP P_{bl}		2 ПП C_{bp} 2 PP P_{cow}		3 ПП E_{cep} 3 PP SP_{bl}		4 ПП C_{cep} 4 PP P_{bl}		5 ПП C_{bp} 5 PP P_{cow}	
	$M \pm m$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$	$t_{0,95}$	$M \pm m$
Влажность хвои, % Humidity of the needles, %	59,11±0,6	51,06±0,5	0,2	52,51±0,8	0,1	51,44±0,7	0,2	44,95±0,8	0,2	51,15±0,9
Водный дефицит, % Water shortage, %	15,97±0,1	12,29±0,2	1,8	11,62±0,2	1,7	15,81±0,3	1,4	17,70±0,1	2,3	20,62±0,2
										3,1

Примечание. ПП – пробная площадь; C_{cep} – сосняк черничный, C_{bp} – сосняк брусничный, E_{cep} – ельник черничный. Критическое значение t -критерия Стьюдента $t_{0,95} = 2,2$.

Note. PP – permanent plots, P_{bl} – blueberry pine, P_{cow} – cowberry pine, SP_{bl} – blueberry spruce. The critical value of the Student's t -test is $t_{0,95} = 2,2$.



Зависимость интенсивности транспирации от освещенности
Dependence of transpiration intensity on illumination

Свет выступает как ключевой фактор, определяющий интенсивность транспирации в хвойных растениях, воздействуя как напрямую через нагрев тканей, так и косвенно через физиологические механизмы регуляции. В темноте растения транспирируют в десятки раз слабее, чем при полном солнечном освещении (Веретенников, 1987).

Анализируя результаты исследования, можно отметить, что при повышении освещенности интенсивность транспирации также возрастает, т. е. между ними имеется сильная положительная связь ($y = 0,03x + 50$, $r = 0,85$). Это также подтверждается в работах других авторов (Карпов, 1969; Крамер, 1983; Богатырев, Васильева, 1985).

Выводы

Подрост имеет важное лесоводственное значение, являясь источником формирования нового древостоя, восстановления и сохранения лесов, а также объектом биоразнообразия, что очень важно для уникального природного объекта – национального парка «Русский Север». По результатам нашего научного эксперимента можно отметить, что естественный подрост ели под пологом насаждений в Сокольском бору на всех опытных участках по жизненному состоянию характеризуется как сомнительный, а по густоте – редкий.

В результате изучения водного режима выявлено, что у подроста ели в сосняке брусничного типа условий местопроизрастания (ПП 6) водный дефицит составляет 26,6 %, что позволяет охарактеризовать состояние подроста на данном участке как близкое к депрессии. На остальных участках

водный дефицит остается в среднем на уровне 13–18 %, что не является критичным. Наибольшая интенсивность транспирации у подроста ели нами отмечена в сосняке брусничном (ПП 6) – 238,0 мг/(г·ч), а наименьшая – ельнике черничном (ПП 5) – 164 мг/(г·ч). Анализируя зависимость интенсивности транспирации и освещенности под пологом леса на объектах исследования, можно отметить, что между ними имеется сильная положительная связь.

Таким образом, по результатам исследования можно отметить, что с целью сохранения уникальных природных экосистем необходимо проводить меры по защите и охране лесов в Сокольском бору на территории национального парка «Русский Север». В качестве таких мер следует организовывать определенные маршруты посещения данных территорий, а также проводить лесоводственный уход за лесом.

Список источников

- Алексеев В. А. Световой режим леса. М. : Наука, 1975. 280 с.
- Андросова А. В. Транспирации как ключевой показатель водного обмена // Научный альманах. 2020. № 22. С. 111–115.
- Богатырев Ю. Г., Васильева И. Н. Водный режим почв и подроста ели на вырубках и под пологом леса // Лесоведение. 1985. № 2. С. 16–25.
- Веретенников А. В. Физиология растений с основами биохимии : учеб. пособие. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1987. 256 с.
- Гордеева Л. И., Веретенников А. В. Водный режим подроста ели в связи с рубками в северной подзоне тайги европейской части СССР // Вопросы лесовосстановления на Европейском Севере. Архангельск : АИЛиЛХ, 1976. С. 305–311.
- Гусев И. И. Моделирование экосистем : учеб. пособие. Архангельск : Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2002. 112 с.
- Евстигнеев О. И. Отношение лиственных деревьев к свету и водообеспеченности в связи со структурой леса // Лесоведение. 1996. № 6. С. 26–35.
- Зарубина Л. В., Коновалов В. Н. Эколого-физиологические особенности ели в березняках черничных. Архангельск : ИД САФУ, 2014. 378 с.
- Иванов Л. А. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях // Ботанический журнал. 1950. Т. 35. Вып. 2. С. 171–185.
- Карасев В. Н., Карасева М. А. Особенности водного режима деревьев ели европейской в ранневесенний период // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2011. № 1. С. 37–42.
- Карпов В. Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. М. : Наука, 1969. 335 с.
- Коновалов В. Н., Зарубина Л. В. Эколого-биологические особенности подроста ели в мягколиственных лесах : монография. Архангельск : САФУ, 2002. С. 91–96.
- Крамер П. Д. Физиология древесных растений. М. : Лесн. пром-сть, 1983. 96 с.

- Лархер В. Экология растений. М. : Мир, 1978. 382 с.
- Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 15.06.2025).
- Мухаметова С. В., Анисимова С. В., Ямалиева Р. Р. Водообмен побегов древесных растений // Вестник ландшафтной архитектуры. 2020. № 21. С. 50–52.
- Национальный парк «Русский Север» : [сайт]. URL: <https://russever.region35.ru/> (дата обращения: 10.06.2025).
- Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 августа 2014 г. № 367. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411296269/> (дата обращения: 10.06.2025).
- ОCT 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 59 с.
- ОCT 56-81-84. Полевые исследования почвы. Порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам. М., 1984. 17 с.
- Платонова Ю. А., Зайцева В. А., Зарубина Л. В. Оценка лесовозобновления в национальном парке «Русский Север» // Молодые исследователи – регионам : матер. Междунар. науч. конф. (Вологда, 21–23 апреля 2020 г.). Вологда, 2020б. Т. 1. С. 487–489.
- Платонова Ю. А., Смирнов С. А., Зарубина Л. В. Изучение лесовозобновительных процессов на особоохраняемых природных территориях на примере национального парка «Русский Север» // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам : сб. науч. тр. по результатам работы IV Междунар. молод. науч.-практ. конф. 2020а. С. 242–245.
- Правила лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29 декабря 2021 г. № 1024. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения: 10.06.2025).
- Правила санитарной безопасности в лесах : Постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (дата обращения: 10.06.2025).
- Реймерс Н. Ф. Особо охраняемые природные. М. : Мысль, 1978. 298 с.
- Роде А. А. Водный режим почв и его регулирование. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 119 с.
- Сазонова Т. А., Придacha В. Б. Влияние почвенных условий среднetaежного сосняка лишайникового на рост и показатели минерального и водного режима сосны обыкновенной // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 11. С. 113–123.
- Сенькина С. Н. Транспирация и устьичное сопротивление сосны обыкновенной в разных условиях произрастания // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 6. С. 45–52.
- Чернышенко О. В., Рудая О. А., Ефимов С. В. Интенсивность транспирации листьев у некоторых видов рода *Paeonia* L. как один из возможных показателей их адаптации к условиям среды // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2017. № 3. С. 78–86.
- Water, heat, and airborne pollutants effects on transpiration of urban trees / H. Wang, Z. Ouyang, W. Chen [et al.] // Environmental Pollution. 2011. Vol. 159, Iss. 8–9. P. 2127–2137.

References

- Alekseev V. A. The light regime of the forest. Moscow : Nauka, 1975. 280 p.
- Androsova A. V. Transpiration as a key indicator of water metabolism // Scientific almanac. 2020. № 22. P. 111–115. (In Russ.)

- Bogatyrev Yu. G., Vasilyeva I. N.* The water regime of soils and spruce undergrowth in cuttings and under the canopy of the forest // Forestry Science. 1985. № 2. P. 16–25. (In Russ.)
- Chernyshenko O. V., Rudaya O. A., Efimov S. V.* Leaf transpiration intensity in some species of the genus *Paonia* L. as one of the possible indicators of their adaptation to environmental conditions // Vestnik MGUL. Lesnoy vestnik. 2017. № 3. P. 78–86 (In Russ.)
- Evstigneev O. I.* The relation of deciduous trees to light and water availability in connection with the structure of the forest // Forestry Science. 1996. № 6. P. 26–35. (In Russ.)
- Forest Code of the Russian Federation № 200-FZ dated 04.12.2006. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 15.06.2025).
- Gordeeva L. I., Veretennikov A. V.* The water regime of spruce undergrowth in connection with logging in the northern taiga subzone of the European part of the USSR // Reforestation issues in the European North. Arkhangelsk : AILH, 1976. P. 305–311. (In Russ.)
- Gusev I. I.* Modeling ecosystems : Study guide. Arkhangelsk : Publishing House of Arkhangelsk State Technical University, 2002. 112 p.
- Ivanov L. A.* On the method of rapid weighing for determining transpiration in vivo // The nerd. Journal. 1950. Vol. 35, Issue 2. P. 171–185. (In Russ.)
- Karasev V. N., Karaseva M. A.* Features of the water regime of European spruce trees in the early spring period // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2011. № 1. P. 37–42. (In Russ.)
- Karpov V. G.* Experimental phytocenology of the dark coniferous taiga. Moscow : Science, 1969. 335 p.
- Konovalov V. N., Zarubina L. V.* Ecological and biological features of spruce undergrowth in soft-leaved forests : The monograph. Arkhangelsk : NArFU, 2002. P. 91–96.
- Kramer P. D.* Physiology of woody plants. Moscow : Forestry industry, 1983. 96 p.
- Larher V.* Plant Ecology. Moscow : Mir, 1978. 382 p.
- Mukhametova S. V., Anisimova S. V., Yamalieva R. R.* Water exchange of shoots of woody plants // Bulletin of Landscape Architecture. 2020. № 21. P. 50–52. (In Russ.)
- National Park “Russian North” : [website]. URL: <https://russever.region35.ru/> (accessed 10.06.2025).
- On Approval of the List of Forest-growing Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation : Order № 367 of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated August 18, 2014. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411296269/> (accessed 10.06.2025).
- OST 56-69-83. The trial areas are forestry. The bookmark method. Moscow, 1983. 59 p.
- OST 56-81-84. Field soil research. The order and methods of work, the basic requirements for the results. Moscow, 1984. 17 p.
- Platonova Yu. A., Smirnov S. A., Zarubina L. V.* Study of reforestation processes in specially protected natural areas on the example of the Russian North National Park // Young researchers of agro–industrial and forestry complexes – by region : Collection of scientific papers based on the results of the IV International Youth Scientific and practical conference. 2020. P. 242–245. (In Russ.)
- Platonova Yu. A., Zaitseva V. A., Zarubina L. V.* Assessment of reforestation in the Russian North National Park. Young Researchers to the regions Proceedings of the International Scientific Conference (Vologda, April 21–23, 2020). Vologda, 2020. Vol. 1. P. 487–489. (In Russ.)
- Reimers N. F.* Specially protected natural areas. Moscow : Mysl, 1978. 298 p.
- Rode A. A.* The water regime of soils and its regulation. Moscow : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 119 p.
- Rules of sanitary safety in forests. Decree of the Government of the Russian Federation № 2047 of December 9, 2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053313> (accessed 10.06.2025).

- Sazonova T. A., Pridacha V. B. The influence of soil conditions of the middle taiga lichen pine on the growth and indicators of the mineral and water regime of the common pine // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. № 11. P. 113–123. (In Russ.)*
- Senkina S. N. Transpiration and stomatal resistance of the common pine in different growing conditions // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2009. № 6. P. 45–52. (In Russ.)*
- The rules of reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form of the reforestation project : Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation № 1024 dated December 29, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 10.06.2025).*
- Veretennikov A. V. Plant physiology with the basics of biochemistry : textbook. Voronezh : VSU Publishing House, 1987. 256 p.*
- Water, heat, and airborne pollutants effects on transpiration of urban trees / H. Wang, Z. Ouyang, W. Chen [et al.] // Environmental Pollution. 2011. Vol. 159, Iss. 8–9. P. 2127–2137.*
- Zarubina L. V., Konovalov V. N. Ecological and physiological features of spruce in blueberry birch forests. Arkhangelsk : SAFU Publishing House, 2014. 378 p.*

Информация об авторах

- Л. В. Зарубина – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;*
В. А. Зайцева – аспирант;
Ю. А. Платонова – аспирант;
Л. В. Кузнецова – научный сотрудник.

Information about the authors

- L. V. Zarubina – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;*
V. A. Zaitseva – postgraduate student;
Yu. A. Platonova – postgraduate student;
L. V. Kuznetsova – researcher.

Статья поступила в редакцию 31.07.2025; принята к публикации 20.09.2025.

The article was submitted 31.07.2025; accepted for publication 20.09.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 52–59.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 52–59.

Научная статья
УДК 630*182.2:581.5(470.41-25)
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.005

УГЛЕРОДДЕПОНИРУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Нурсиль Фоатович Гибадуллин¹, Иван Викторович Бачериков²,
Сергей Вениаминович Залесов³

¹ Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

² ООО «Умные цифровые решения», Москва, Россия

³ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ Nursil.Gibadullin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7234-920X>

² ivashka512@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0531-1604>

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

Аннотация. Проведено исследование углероддепонирующей функции сосновых молодняков искусственного и естественного происхождения, сформировавшихся на постагрогенных землях в четырех административных районах Республики Татарстан. С использованием широко известных апробированных методик установлены достоверные различия в накоплении углерода деревьями различных категорий крупности как в одном древостое, так и в древостоях, произрастающих в разных административных районах Республики Татарстан. Установлено, что наиболее крупные деревья депонируют углерода значительно больше, чем деревья тонких ступеней толщины, несмотря на большую представленность последних в общей густоте. Сосновые молодняки, формирующиеся на постагрогенных землях, существенно различаются объемом депонируемого углерода по административным районам Республики Татарстан. При этом с продвижением от лесостепи к зоне хвойно-широколиственных лесов наблюдается статистически достоверное увеличение углероддепонирующих функций в изучаемых сосновых молодняках на постагрогенных землях. Значительные запасы древесины и массы задепонированного в ней углерода в молодняках сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), формирующихся на постагрогенных землях, позволяют считать, что зарастание исключенных из оборота бывших сельскохозяйственных угодий древесной растительностью оказывает существенное влияние на содержание парниковых газов в атмосферном воздухе, а следовательно, и на глобальные процессы изменения климата на нашей планете.

Ключевые слова: депонирование углерода, сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* L., Республика Татарстан, постагрогенные земли

Для цитирования: Гибадуллин Н. Ф., Бачериков И. В., Залесов С. В. Углероддепонирующая функция сосновых молодняков на постагрогенных землях Республики Татарстан // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 52–59.

Original article

CARBON-DEPOSITING FUNCTION OF PINE YOUNG FORESTS ON POSTAGROGENIC LANDS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Nursil F. Gibadullin¹, Ivan V. Bacherikov², Sergey V. Zalesov³

¹ Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

² Smart Digital Solutions LLC, Moscow, Russia

³ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ Nursil.Gibadullin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7234-920X>

² ivashka512@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0531-1604>

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

Abstract. The carbon-depositing function of pine young forests of artificial and natural origin formed on postagrogenic lands in four administrative districts of the Republic of Tatarstan has been researched. Using well-known and tested methods, reliable differences in carbon accumulation by trees of different size categories were established both in one forest stand and in forest stands growing in different administrative districts of the Republic of Tatarstan. It was found that the largest trees deposit significantly more carbon than trees of thin thickness grades, despite the greater representation of the latter in the overall density. Pine young stands formed on postagrogenic lands differ significantly in the volume of deposited carbon by administrative districts of the Republic of Tatarstan. At the same time, with the advancement from the forest-steppe to the zone of coniferous-broad-leaved forests, a statistically significant increase in carbon-depositing functions is observed in the researched pine young forest stands on postagrogenic lands. Significant reserves of wood and the mass of carbon deposited in it in young forest stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), formed on postagrogenic lands, allow us to assume that the overgrowing of former agricultural lands excluded from circulation with woody vegetation has a significant impact on the content of greenhouse gases in the atmospheric air, and, consequently, on the global processes of climate change on our planet.

Keywords: carbon deposition, Scots pine, *Pinus sylvestris* L., Republic of Tatarstan, postagrogenic lands

For citation: Gibadullin N. F., Bacherikov I. V., Zalesov S. V. Carbon-depositing function of pine young forests on postagrogenic lands of the Republic of Tatarstan // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 52–59.

Введение

Древостой на постагрогенных землях (залежах) выполняет углероддепонирующую функцию – накапливает углерод в фитомассе многолетней древесной растительности. Перераспределение углерода в экосистеме: по мере развития фитоценоза запас углерода в пахотном горизонте почв уменьшается, а углерод депонируется в древостое (Наквасина, Шумилова, 2021; Особенности..., 2019; Оценка..., 2018; Чернова и др., 2017).

На углероддепонирующую функцию древостоев на постагрогенных землях влияет тип сельско-

хозяйственного использования – пашня, сенокос, выпас и т. д. (Новоселова и др., 2016). Также многое зависит от свойств почвы. В легких почвах постагрогенная динамика запасов углерода выражена более отчетливо, чем в тяжелых, поскольку по мере лесовосстановления происходит перераспределение запасов органического вещества между подстилкой и минеральной частью профиля. Информация об углероддепонирующей функции древостоев на постагрогенных землях представляет интерес для прогнозов баланса углерода в постагрогенных экосистемах в результате

лесовосстановительной сукцессии. Исследования динамики запасов углерода в почвах и растительности на различных стадиях постагротенной сукцессии могут быть полезны для рационального подхода к использованию залежных земель (Дмитриев, Леднев, 2023; Технологическая реализация..., 2023; Королева, Шунькина, 2014).

Восстановление лесов на постагротенных землях является эффективным способом борьбы с изменением климата, поскольку позволяет увеличить поглощение углекислого газа из атмосферы и накопить его в виде биомассы и почвенно-го органического вещества. В целом древостои на постагротенных землях играют важную роль в глобальном цикле углерода, способствуя его депонированию и смягчению последствий изменения климата (Формирование..., 2023; Динамика..., 2017; Запасы углерода..., 2024).

Повышение лесистости региона и пуша углерода в лесных биогеоценозах перспективно путем увеличения площади водоохранных лесных насаждений по берегам рек, водорегулирующих фитоценозов на склоновых землях (Рекомендации..., 2009; Сабиров и др., 2023).

В связи с вышеизложенным проблематика оценки депонирования углерода древесными насаждениями на постагротенных землях региона исследования представляет несомненный интерес.

Цель, методика и объекты исследования

Целью проведенного исследования была оценка депонирования углерода сосновыми молодняками на постагротенных землях Республики Татарстан (РТ) с учетом различных почвенных факторов в районах исследования.

Объектами исследования были естественные сосновые молодняки и склоновые культуры. В физико-географическом отношении Татарстан расположен в лесной и лесостепной зонах, что и определяет выбор районов исследования. Расположение опытных объектов охватывает несколько районов Татарстана: Бугульминский, Высокогорский, Лаишевский и Пестриченский. Почвы постагротенные в зональном ряду располагаются от деградированных черноземов до серых песчаных лесных и суглинистых.

В каждом районе исследования закладывались две пробные площади. Проводился сплошной перечет деревьев и определялся запас в фитомассе. Далее оценивалась фитомасса подземной и наземной частей модельных деревьев сосны (Усольцев, Залесов, 2005; Видовые особенности..., 2024). Расчет углероддепонирующего потенциала проводился по методике Минприроды РФ (2017). Учитывались ступень толщины дерева и категория, к которой она относилась, – подрост или древостой.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием метода дисперсионного анализа (Шевелина, Нуриев, 2022).

Результаты и их обсуждение

По результатам учета на пробных площадях был определен запас по ступеням толщины и рассчитана фитомасса на основе данных отобранных модельных деревьев и пересчитанных на 1 га для каждого района исследования (рис. 1).

Способность древостоев к накоплению фитомассы и депонированию углерода во многом зависит от их географического расположения, лесорастительных условий и породного состава насаждений (Чураков и др., 2011).

В зональном ряду почв идет увеличение как фитомассы сосновых молодняков, так и их углероддепонирующей функции (рис. 2–3).

Полученные расчеты по депонированию углерода в молодняках сосны естественного и искусственного происхождения показали различный объем депонирования углерода в древесной фитомассе. На рис. 4 можно видеть различный характер депонирования углерода в деревьях разной категории крупности.

Для выявления достоверных различий по депонированию углерода в сосновых молодняках на постагротененных землях региона исследования был проведен однофакторный дисперсионный анализ по критерию Фишера. При сравнении всех четырех опытных объектов оценка факторной дисперсии оказалась больше оценки остаточной дисперсии, поэтому можно утверждать о несправедливости нулевой гипотезы о равенстве математических ожиданий по слоям выборки.

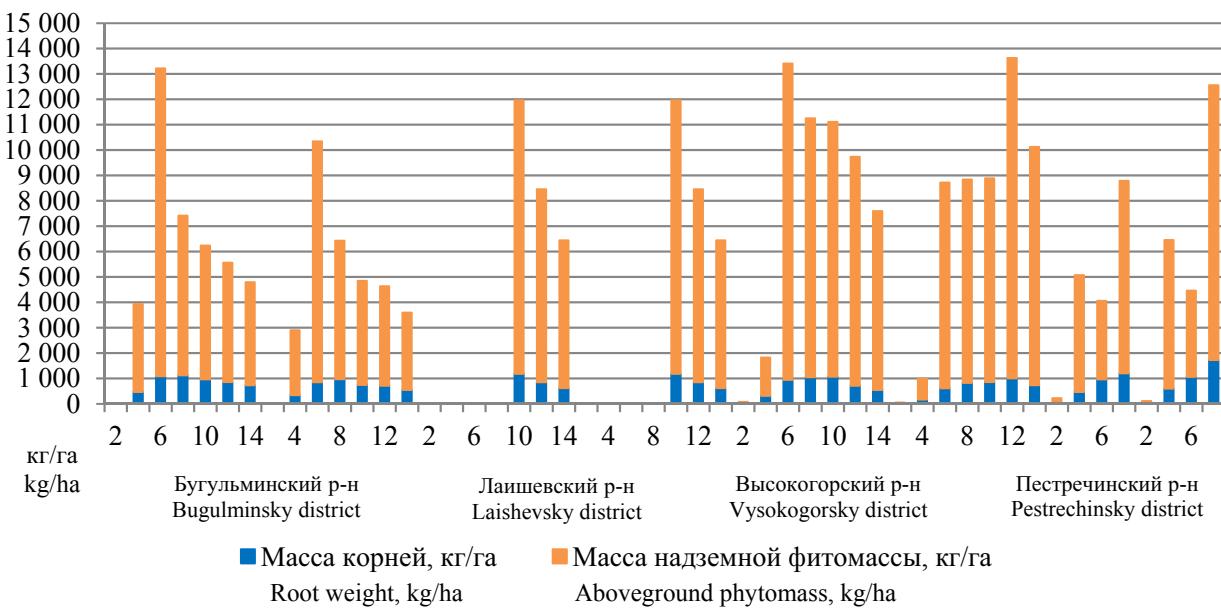


Рис. 1. Распределение фитомассы по ступеням толщины деревьев сосновых молодняков на постагротических землях в различных районах РТ

Fig. 1. The distribution of phytomass by tree diameter classes in juvenile pine stands on post-agricultural lands in various regions of the Republic of Tatarstan

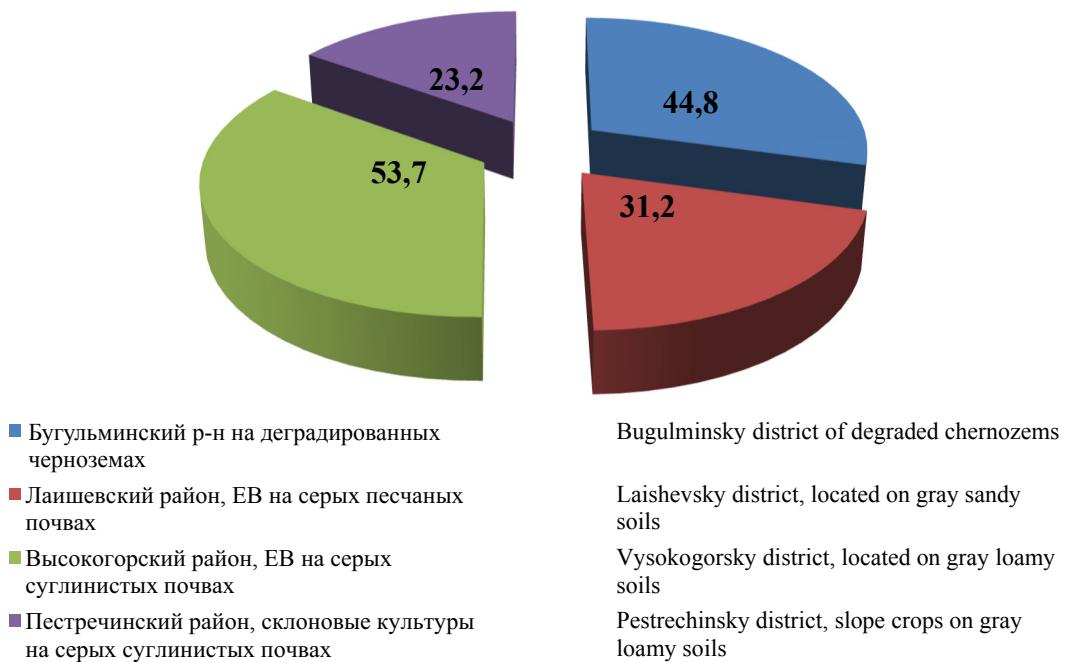


Рис. 2. Общий объем фитомассы, т/га, молодняков сосны на постагротических землях районов исследования в РТ

Fig 2. Total phytomass volume per hectare in juvenile pine stands on post-agricultural lands across the study regions of the Republic of Tatarstan

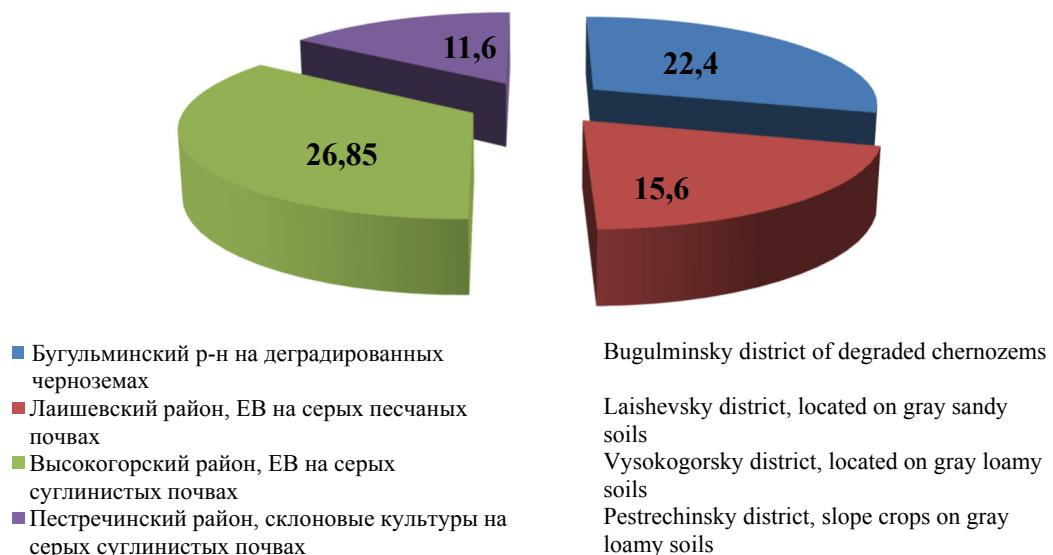


Рис. 3. Общий объем депонирования углерода, т/га, сосновых молодняков на постагрених землях районов исследования в РТ

Fig. 3. Total carbon sequestration volume per hectare in juvenile pine stands on post-agricultural lands across the study regions of the Republic of Tatarstan

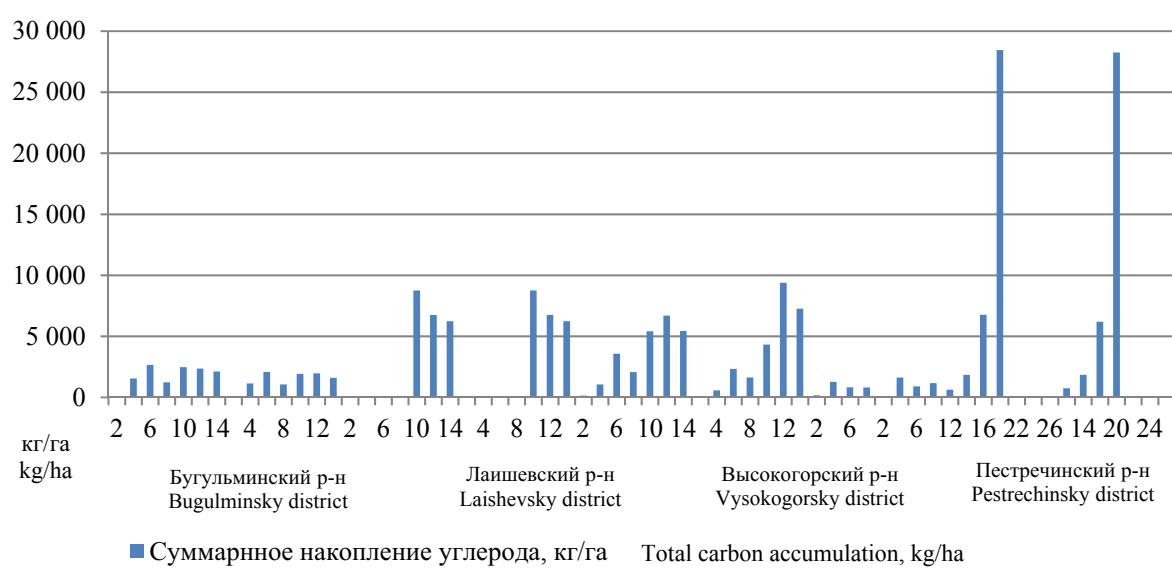


Рис. 4. Количество депонируемого углерода, кг/га, по ступеням толщины в сосновых молодняках в районах исследования в РТ

Fig. 4. Amount of sequestered carbon, kg/ha, by diameter classes in juvenile pine stands across the study regions of the Republic of Tatarstan

Иначе говоря, в данном примере фактор района исследования и почв в том числе оказывает существенное влияние на случайную величину. Проверим нулевую гипотезу H_0 : равенство средних значений x .

Находим $f_{набл}$:

$$f_{набл} = \frac{25216761,98}{2051417,08} = 12,29. \quad (1)$$

Для уровня значимости $\alpha = 0,01$, чисел степеней свободы 3 и 39 находим $f_{кр}$ из таблицы распределения Фишера – Сnedекора. $f_{кр} (0,01; 3; 39) = 4,3126$.

В связи с тем, что $f_{набл} > f_{кр}$, нулевую гипотезу о существенном влиянии фактора на результаты экспериментов принимаем (нулевую гипотезу о равенстве групповых средних отвергаем).

Другими словами, групповые средние запасов углерода по ступеням толщины по районам исследования в целом различаются значимо.

Дисперсионный анализ различий по естественно возобновившимся сосновым молоднякам по районам исследования РТ также показал, что $f_{набл} = 10,04$. Для уровня значимости $\alpha = 0,01$, чисел степеней свободы 2 и 31 находим f_{kp} из таблицы распределения Фишера – Сnedекора:

$$f_{kp} (0,01; 2; 31) = 5,3363. \quad (2)$$

В связи с тем, что $f_{набл} > f_{kp}$, нулевую гипотезу о существенном влиянии фактора на результаты экспериментов принимаем (нулевую гипотезу о равенстве групповых средних отвергаем). Другими словами, групповые средние в целом

различаются значимо и, следовательно, имеются достоверные различия накопления фитомассы по ступеням толщины.

Выводы

1. Исследование показало достоверные различия накопления углерода сосновыми молодняками по ступеням толщины стволов по районам исследования.

2. Наибольшее депонирование углерода происходит в более крупных деревьях сосны, несмотря на большую представленность деревьев в остальных ступенях.

3. С продвижением от лесостепной к хвойно-широколиственной зоне увеличивается углерод-депонирующая функция сосновых естественных молодняков.

Список источников

- Видовые особенности изменения содержания сухого вещества в древесине и коре вдоль по стволу дерева / В. А. Усольцев, Н. И. Плюха, И. С. Цепордей, Е. М. Ангальт // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 130–142.
- Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах / В. М. Телеснина, И. Н. Курганова, В. О. Леос де Гереню [и др.] // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.
- Дмитриев А. В., Леднев А. В. Баланс углерода на постагрогенных дерново-подзолистых почвах // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93, № 5. С. 445–455.
- Запасы углерода в фитомассе лесов России: новая количественная оценка на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, А. А. Селезнев // Лесохозяйственная информация. 2024. С. 29–55.
- Королева Т. С., Шунькина Е. А. Обзор мирового опыта консервации углерода в существующих лесных резервуарах // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. № 4. С. 22–39.
- Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов : утв. распоряжением МПР РФ от 30.06.2017 г. № 20. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079177> (дата обращения: 10.07.2025).
- Наквасина Е. Н., Шумилова Ю. Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 1 (379). С. 46–59.
- Новоселова Н. Н., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 106 с.
- Особенности естественного восстановления лесных экосистем на бывших сельскохозяйственных землях (на примере южного агроклиматического района Карелии) / Е. В. Мошкина, М. В. Медведева, А. В. Туюнен [и др.] // Биосфера. 2019. № 3. С. 134–145.
- Оценка состояния лесных и постагрогенных почв Ленинградской области и перспективы интенсивного лесовыращивания на этих территориях / Д. А. Данилов, А. В. Жигунов, Б. Н. Рябинин, А. А. Вайман // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 223. С. 47–63.

- Рекомендации по созданию защитных лесных насаждений в агроландшафтах Прикамья Республики Татарстан / А. Т. Сабиров, И. Р. Галиуллин, Р. Ф. Хузиев [и др.]. Казань : Изд-во Казанского ГАУ, 2009. 38 с.
- Сабиров А. Т., Шагидуллин Р. Р., Ульданова Р. А. Программа исследования аккумуляции углерода в лесных экосистемах // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 4 (36). С 4–11.
- Технологическая реализация лесоводственных мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение лесами функций депонирования и консервации углерода / В. И. Желдак, Э. В. Дорощенкова, А. Н. Сычева [и др.] // Лесохозяйственная информация. 2023. № 3. С. 5–25.
- Усольцев В. А., Залесов С. В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 147 с.
- Формирование надземной фитомассы лиственных древесных пород на постагрогенных землях / Д. А. Данилов, А. А. Яковлев, С. А. Суворов [и др.] // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 1. С. 65–76.
- Чернова О. В., Рыжова И. М., Подvezенная М. А. Изменение величины и структуры запасов углерода в регионах южной тайги и лесостепи Европейской России за исторический период // Живые и биокосные системы. 2017. № 19.
- Чураков Б. П., Парамонова Т. А., Корнилина В. В. Сравнительный анализ фитомассы и депонированного углерода в сосновых и осиновых древостоях в связи с возможной их сменой // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. № 3. С. 140–147.
- Шевелина И. В., Нуриев Д. Н. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде Statistica. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 112 с.

References

- Assessment of the state of forest and postagrogenic soils in the Leningrad region and prospects for intensive reforestation in these territories / D. A. Danilov, A. V. Zhigunov, B. N. Ryabinin, A. A. Vayman // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2018. № 223. P. 47–63. (In Russ.)
- Carbon reserves in the phytomass of Russian forests: a new quantitative assessment based on data from the first cycle of the state forest inventory / A. N. Filipchuk, N. V. Malysheva, T. A. Zolina, A. A. Seleznev // Forestry information. 2024. P. 29–55. (In Russ.)
- Chernova O. V., Ryzhova I. M., Podvezennaya M. A. Changes in the size and structure of carbon reserves in the regions of the southern taiga and forest-steppe of European Russia over the historical period // Living and biokos systems. 2017. № 19. (In Russ.)
- Churakov B. P., Paramonova T. A., Kornilina V. V. Comparative analysis of phytomass and deposited carbon in pine and aspen stands in connection with their possible replacement // Ulyanovsk Medical and Biological Journal. 2011. № 3. P. 140–147. (In Russ.)
- Dmitriev A. V., Lednev A. V. Carbon balance on postagrogenic sod-podzolic soils // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. Vol. 93, № 5. P. 445–455. (In Russ.)
- Dynamics of soil properties and vegetation composition during post-agrarian development in different bioclimatic zones / V. M. Telesnina, I. N. Kurganova, V. O. Leos de Guerenu [et al.] // Soil Science. 2017. № 12. P. 1514–1534. (In Russ.)
- Features of natural restoration of forest ecosystems on former agricultural lands (on the example of the southern agro-climatic region of Karelia) / E. V. Moshkina, M. V. Medvedeva, A. V. Tuyunen [et al.] // Biosphere. 2019. № 3. P. 134–145. (In Russ.)
- Formation of aboveground phytomass of deciduous tree species on postagrogenic lands / D. A. Danilov, A. A. Yakovlev, S. A. Suvorov [et al.] // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2023. № 1. P. 65–76. (In Russ.)

- Koroleva T. S., Shunkina E. A. Review of the world experience of carbon conservation in existing forest reservoirs // Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. 2014. № 4. P. 22–39. (In Russ.)*
- Methodological guidelines for the quantitative determination of greenhouse gas uptake : Approved by the Decree of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation dated 30.06.2017 № 20. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079177> (accessed 10.07.2025).*
- Nakvasina E. N., Shumilova Yu. N. The dynamics of carbon reserves during the formation of forests on postagrogenic lands // Izvestiya vuzov. Forest magazine. 2021. № 1 (379). P. 46–59. (In Russ.)*
- Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G. Formation of woody vegetation on former agricultural lands. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 106 p.*
- Recommendations for the creation of protective forest plantations in the agro-landscapes of the Kama region of the Republic of Tatarstan / A. T. Sabirov, I. R. Galiullin, R. F. Khuziev [et al.]. Kazan : Publishing House of the Kazan State Agrarian University, 2009. 38 p.*
- Sabirov A. T., Shagidullin R. R., Uldanova R. A. Carbon accumulation research program in forest ecosystems // Russian Journal of Applied Ecology. 2023. № 4 (36). P. 4–11. (In Russ.)*
- Shevelina I. V., Nuriev D. N. Statistical processing of forestry and taxation information in the Statistica environment. Yekaterinburg : UGLTU, 2022. 112 p.*
- Specific features of changes in the content of dry matter in wood and bark along the trunk of a tree / V. A. Usoltsev, N. I. Plukha, I. S. Tsepordey, E. M. Anhalt // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 4 (91). P. 130–142. (In Russ.)*
- Technological implementation of forestry measures ensuring the effective performance by forests of the functions of carbon deposition and conservation / V. I. Zheldak, E. V. Doroshchenkova, A. N. Sycheva [et al.] // Forestry information. 2023. № 3. P. 5–25. (In Russ.)*
- Usoltsev V. A., Zalesov S. V. Methods for determining biological productivity of plantings. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2005. 147 p.*

Информация об авторах

Н. Ф. Гибадулин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
И. В. Бачериков – кандидат технических наук, математик-аналитик;
С. В. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about authors

N. F. Gibadullin – Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor;
I. V. Bacherikov – Candidate of Technical Sciences, mathematician;
S. V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 09.08.2025; принята к публикации 20.09.2025.

The article was submitted 09.08.2025; accepted for publication 20.09.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 60–68.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 60–68.

Научная статья

УДК 631.4

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.006

СВОЙСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СОСНЯКОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

Лидия Андреевна Сенькова¹, Ольга Михайловна Астафьева²,
Егор Ярославович Сосновских³

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

¹ senkova@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2597-662X>

² astafievaom@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9230-4380>

³ egorsosnovskih1234@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена изучению свойств дерново-подзолистых почв на территории Билимбаевского лесничества Свердловской области в условиях воздействия атмосферных выбросов промышленных предприятий. Рациональное использование лесных насаждений возможно при наличии сведений о их почвенном покрове. Поэтому исследование степени поражения лесных массивов имеет целью изучение изменения свойств их почв. Для исследования были подобраны сосновые насаждения искусственного происхождения в различных зонах поражения и в фоновых условиях. Полученные данные свидетельствуют о том, что токсичное воздействие промышленных отходов на лесную растительность влияет и на свойства почв под ней. Почвы контрольной зоны имеют свойства, характерные для дерново-подзолистых почв. В зонах загрязнения и поражения лесов морфологические признаки и физические свойства почв не имеют ясно выраженных признаков деградации. Однако лесная подстилка становится слабо подверженной разложению. Механическая прочность агрегатов слабая, однако чем выше степень поражения леса, тем выше становится водопрочность агрегатов, что может быть связано с составом выбросов, в которых присутствует пыль.

Ключевые слова: поражение лесных насаждений, свойства и морфология почв, аэропромвыбросы

Для цитирования: Сенькова Л. А., Астафьева О. М., Сосновских Е. Я. Свойства дерново-подзолистых почв сосняков искусственного происхождения на Среднем Урале // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 60–68.

Original article

PROPERTIES OF SOD-PODZOLIC SOILS OF ARTIFICIAL PINE FORESTS IN THE MIDDLE URALS

Lidiya A. Senkova¹, Olga M. Astafieva², Egor Ya. Sosnovskikh³

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

¹ senkovala@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2597-662X>

² astafievaom@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9230-4380>

³ egorsosnovskikh1234@gmail.com

Abstract. The article is devoted to the research of the properties of sod-podzolic soils on the territory of the Bilimbaevsky forestry (Sverdlovsk region) under the influence of atmospheric emissions from industrial enterprises. Rational use of forest plantations is possible using information about their soil cover. Therefore, the research of the degree of damage to forest expanse is aimed at researching changes in the properties of their soils. For the research, the pine plantations of artificial origin in various affected zones and background conditions were selected. The data obtained indicate that toxic impact of industrial waste on forest vegetation also affects the properties of the soil underneath it. Soils in the reference zones have properties characteristic of sod-podzolic soils. In pollution and forest damage zones the morphological characteristics and physical properties of soils do not clearly expressed signs of degradation. However forest litter becomes weakly susceptible decomposition. The mechanical strength of the aggregates is weak, however the higher the degree of forest damage, the higher the water resistance of the aggregates becomes which may be due to the composition of emissions that contains dust.

Keywords: damage of forest plantations, soil properties and morphology, airborne industrial emissions

For citation: Senkova L. A., Astafieva O. M., Sosnovskikh E. Ya. Properties of sod-podzolic soils of artificial pine forests in the Middle Urals // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 60–68.

Введение

Лесное хозяйство базируется на землях и теснейшим образом связано с окружающей средой. Оно специфично и полностью исключает шаблонный подход к использованию земельных ресурсов в целях предотвращения деградационных процессов в почвах (Трифонова, 1999; Залесов, Колтунов, 2009; Грибов, Шторм, 2010; Залесов и др., 2017). Особое значение почвоохранным мерам и целенаправленным комплексным работам по сохранению почвенного плодородия следует придавать в зонах повышенного антропогенного воздействия, характерного для Среднего Урала.

Природоохранный подход к почвенному покрову требует знания важнейших свойств почв. Однако они определяются комплексом факторов почвообразования, одним из которых является

растительность. Она является основным источником органического вещества в почве. Поступив в почву, отмирающие растительные остатки частично разлагаются до простых веществ – воды, углекислого газа и др. Другая часть подвергается гумификации. При этом растительность влияет на микроорганизмы, обеспечивающие биофизико-химическое преобразование в почвах. Лесная растительность создает в почвах особый биоценоз из таких простейших почвообитающих организмов, как грибы, актиномицеты, бактерии (Юсупов и др., 1999; Шебалова, Залесов, 2006а; 2006б; Шебалова, Залесов, 2007; 2008). Из этого следует, что характер биологического круговорота веществ влияет на ход почвообразовательных процессов и особенности свойств почвенного покрова.

На Среднем Урале почвенный покров формируется под лесами, в составе которых имеются хвойные, лиственные породы и травянистая растительность, состав и соотношение которых обуславливают два основных противоположно направленных почвообразовательных процесса: подзолистого и дернового. Эти процессы могут сочетаться с процессами, вызывающими заболачивание.

Географическое расположение горной страны Урала обеспечивает также инверсию воздушных масс, в результате чего в почвенном покрове появляется нехарактерное для внутриматерикового почвообразования буровоземообразование.

Цель, методика и объекты исследования

Влияние типов леса на свойства почв в настоящее время слабо исследовано. В то же время лесные сообщества и их почвы не остаются постоянными, они подвергаются не только эволюции, но и деградации вследствие высокой антропогенной нагрузки при вырубке лесов, пожарах и особенно загрязнении продуктами промышленного производства (Хлыстов и др., 2016).

Поэтому целью работы в 2023 г. являлось исследование почв под сосновыми насаждениями, пораженными аэропромывбросами Первоуральско-Ревдинского промышленного узла. Состав выбросов включал в себя сернистый газ, сернистый ангидрид, сероводород, аммиак, фенол, фтористый водород, хлористый водород, окислы азота и тяжелые металлы.

Объектами исследования являлись почвы сосновых насаждений искусственного происхождения, произрастающих на территории Билимбаевского лесничества Свердловской области в различных зонах поражения аэропромывбросами и в фоновых условиях.

Использовался полевой экспедиционный метод с заложением разрезов почв, морфологическим описанием их профилей, отбором образцов по генетическим горизонтам и взятием монолитов. Лабораторный метод включал изучение свойств отобранных образцов почв. Все исследования проводились в соответствии с принятыми методиками (Тюрин, 1934; Кауричев, 1980; Евдокимова, 1987).

При диагностике почв использовалась Классификация почв России (2004).

Результаты и их обсуждение

Морфология почвы представляет собой много-гранное отражение ее генезиса и исторического развития. В морфологических признаках профиля почвы отражаются также деградационные процессы, часто происходящие и в настоящее время.

Пробная площадь 4 расположена в зоне сильного поражения, 3 – в зоне среднего поражения, 2 – в зоне слабого поражения, 1 – в фоновых условиях. Зонирование района исследований по отношению к источникам выбросов было выполнено ранее Б. С. Фимушиным (1988). Площадь каждой пробной площади составляет 0,2 га. На каждой пробной площади было заложено по три почвенных разреза.

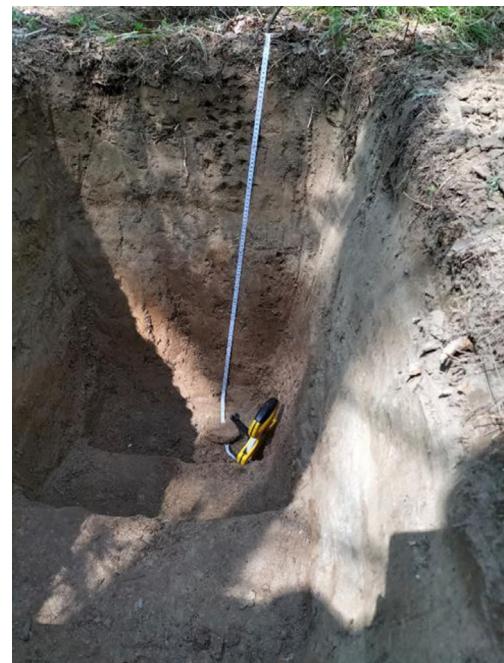
Контрольный разрез заложен в фоновых условиях в нижней части пологого склона западной экспозиции в сосняке разнотравном 1 класса бонитета с составом древостоя 10С. В подлеске встречаются малина лесная, черемуха обыкновенная, рябина обыкновенная, смородина красная, калина обыкновенная; в подросте – ель обыкновенная. В составе живого напочвенного покрова отмечаются бодяг полевой, мятыник обыкновенный, вейник лесной, вероника дубравная, вика мышиная, медуница неясная, грушанка круглолистная, земляника, кислица обыкновенная, копытень европейский, костянка каменистая, лапчатка прямостоячая, майник двулистный, смолевка поникшая, сныть обыкновенная, щитовник мужской, хвощ лесной, фиалка собачья, марьянник луговой.

Постлитогенная текстурно-дифференцированная дерново-подзолистая турбированная (по классификации 2004 г.) или дерново-глубокоподзолистая слабодерновая легкосуглинистая почва на элювиально-делювиальных отложениях горных пород (по классификации 1977 г.) имеет следующий профиль. На рисунке представлен разрез в фоновых условиях.

Почва имеет классический профиль дерново-подзолистой почвы. Период загрязнения территории в зонах поражения техногенными продуктами визуально не отразился на внешних признаках

минеральных горизонтов почв. Некоторые изменения в параметрах почвы являются лишь результатом сильной вариабельности элементарных почвенных ареалов (ЭПА) в зависимости от микрорельефа. В результате можно наблюдать незначительную динамику мощности горизонтов, количества выделений оксидов железа и марганца. Однако наиболее чувствительной частью почвы является лесная подстилка и микрофлора, разрушающая органическое вещество отмерших частей растительного покрова (табл. 1).

Так как в районах воздействия промышленных поллютантов наблюдается снижение срока жизни хвои до двух лет, то в зоне сильного поражения толщина подстилочного горизонта чуть выше. При этом следует отметить, что часть неразложившегося A_0 больше.



Почвенный разрез в фоновых условиях
Drawing 1 Soil section in the control zone

Таблица 1
Table 1

Описание почвы
Description of soil

A_0	0–9 см 0–9 cm	Лесная подстилка /подстилочный горизонт Forest litter /litter horizon
$[AV-EL]_{tr}$	9–18 см 9–18 cm	Серогумусовый, турбированый, гумусово-элювиальный, холодит, белесовато-серый, суглинок легкий, рыхлый, непрочно комковатый, кремнеземистая присыпка, пронизан корнями, турбирован при прокладке борозд – имеются фрагменты горизонта EL, переход резкий Gray humus, turbocharged, humus-eluvial, cold, whitish-gray, light loam, loose, loosely lumpy, silica powder, penetrated by roots, turbocharged when laying furrows – there are fragments of the EL horizon, the transition is sharp
EL	18–48 см 18–48 cm	Субэлювиальный отчетливо выделяется, влажный, суглинок легкий, плитчатый, очень плотный, белесый, кремнеземистая присыпка, корни редки, пятна окислов марганца редки, переход ясный The subeluvial is clearly distinguished, moist, loam is light, tiled, very dense, whitish, siliceous-earthy powder, roots are rare, spots of manganese oxides are rare, the transition is clear
BEL	48–72 см 48–72 cm	Переходный, иллювиальный, неоднородный, буровато-белесый с белесыми затеками, суглинок средний, плотный, непрочно призматически-плитчатый, кремнеземистая присыпка, окись железа, корни редки, переход постепенный Transitional, illuvial, heterogeneous, brownish-whitish with whitish streaks, medium-sized loam, dense, loosely prismatic-tiled, silica powder, iron oxide, roots are rare, the transition is gradual
BT	72–101 см 72–101 cm	Текстурный, влажный, бурый, ореховатый, плотный, глинистый, глянец и полиф по граням структурных отдельностей, кутаны, пятна окиси железа и марганца, редкие обломки горных пород, переход ясный Textured, moist, brown, nutty, dense, glassy, gloss and polyfine along the edges of structural parts, cutans, spots of iron and manganese oxide, rare rock fragments, clear transition
C	101 и более, см 101 and more, sm	Материнская порода из элювиально-делювиальных отложений, влажный, бурый с белесыми пятнами выветрелых горных пород, глинистый, плотный, пятна окиси железа The parent rock is from eluvial-deluvial deposits, moist, brown with white patches of weathered rocks, clayey, dense, spots of iron oxide

Генезис почв и морфология обусловливают их физические свойства (табл. 2).

Гранулометрический состав во всех зонах поражения в пределах градации остается близким к составу контрольной зоны. В серогумусовом горизонте он легкосуглинистый, в субэлювиальном,

хотя становится среднесуглинистым, но количество физической глины повышается незначительно – до 30–32 %. Иллювирование в переходном (BEL) и текстурном (BT) горизонтах обуславливает возрастание физической глины до 50 %. Почвообразующие породы на всех участках тяжелые.

Таблица 2
Table 2

Физические свойства почв в зонах поражения лесных насаждений аэропромывбросами
Physical properties of soils in areas affected by forest plantations by airborne discharges

Разрез Section	Горизонт Глубина, см Horizon Depth, cm	Частицы < 0,01 мм, % Particles < 0,01 mm, %	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³		Пористость, % Porosity, %	Гигроскопия, % Hygroscopy, %
			твердой фазы solid phase	сложения addition		
Контрольная зона Control						
1	$\frac{[AV-EL]_{tr}}{9-18}$	25	2,56	0,96	63	1,8
	$\frac{EL}{18-48}$	30	2,67	1,23	54	0,8
	$\frac{BEL}{48-72}$	45	2,66	1,34	66	2,2
	$\frac{BT}{72-101}$	50	2,70	1,45	47	3,7
	$C > 101$	49	2,68	1,44	46	6,8
Зона слабого поражения The zone of weak defeat						
2	$\frac{[AV-EL]_{tr}}{6-17}$	29	2,57	1,00	61	5,3
	$\frac{EL}{17-27}$	31	2,62	1,29	51	2,9
	$\frac{BEL}{27-37}$	38	2,71	1,50	51	4,2
	$\frac{BT}{37-50}$	43	2,68	1,49	45	5,7
	$\frac{C}{> 50}$	42	2,71	1,47	46	5,3
Зона среднего поражения Medium damage zone						
3	$\frac{[AV-EL]_{tr}}{8-20}$	29	2,56	1,02	70	3,3
	$\frac{EL}{20-33}$	30	2,64	1,30	51	3,0
	$\frac{BEL}{33-50}$	46	2,65	1,48	44	4,6
	$\frac{BT}{50-85}$	41	2,68	1,52	43	4,1
	$\frac{C}{> 85}$	49	2,74	1,50	45	4,9

Окончание табл. 2
The end of the table 2

		Зона сильного поражения The zone of severe damage				
4	$[\text{AV-EL}]_{tr}$ 8–13	27	2,65	1,10	58	4,6
	EL 13–24	32	2,69	1,35	50	1,6
	BEL 24–43	46	2,64	1,44	45	4,2
	BT 43–70	42	2,65	1,49	44	8,9
	$\frac{C}{> 70}$	44	2,70	1,48	45	6,2

Плотность твердой фазы, зависящая от минералогического состава и содержания органического вещества, не имеет особенностей и колеблется в пределах 2,56–2,74 г/см³ на всех участках.

Состояние поверхности, низкая обеспеченность органическим веществом способствуют низкой плотности сложения в верхних слоях всех лесных почв (0,96–1,0274 г/см³). Хорошо выраженные процессы элювирования и иллювиации увеличили эти показатели в профиле до 1,44–1,5074 г/см³.

Пористость в верхней части профиля контрольной почвы достаточно благоприятна для произрастания растительности (63 %), вниз по профилю резко падает до критических показателей (44–46 %), отрицательно влияя на водно-воздушный режим почвы. Такая закономерность сохраняется при всех уровнях загрязнения.

Таким образом, общие физические свойства почв, загрязненных аэропромывбросами, на данном этапе эволюционного развития не имеют выраженных признаков деградации. Вероятно, это связано с длительностью процессов почвообразования при деградации растительного покрова.

Деградационные изменения лесных насаждений при воздействии поллютантов происходят значительно быстрее, чем в почвах. Поэтому в случае гибели лесного массива почва быстрее теряет защиту от воздействия воды и ветра и подвергается эрозии.

Гигроскопическая влага определяется гранулометрическим составом, его тонкой фракцией. По

профилю она колеблется в широких пределах, отражая дерновый, подзолистый и почвообразовательный процессы и степень оглеения. Материнская порода имеет больше гигроскопической влаги, так как в ней иллювируются продукты распада элювиального горизонта.

Устойчивость структуры к механическому воздействию и способность при увлажнении сохранять благоприятное сложение определяются наиболее ценными агрегатами в диапазоне от 10 до 2–1 мм (Зайцева, 1970). При наличии в верхнем слое почвы менее 50 % агрегатов крупнее 1–2 мм почва становится податливой к ветровой эрозии.

Агрегатный состав почв в различных зонах поражения аэропромывбросами может прогнозировать степень их разрушения водой и ветром (табл. 3).

В настоящее время ветроустойчивые агрегаты составляют 65,2–79,5 %, что свидетельствует о благоприятном оструктуривании почв. Закономерность оструктуривания верхнего горизонта почв в зависимости от степени поражения лесных насаждений не проявляется.

Подверженность исследуемых почв водной эрозии высокая. Водопрочные агрегаты составляют не более 30 %. Однако чем выше степень поражения леса, тем выше становится водопрочность. Лесная подстилка зоны сильного поражения имеет слабую степень разложения, а агрегаты почвы долго не смачиваются водой. Возможно, аэропромывбросы, содержащие пылеватые частицы и химические вещества, способствуют агрегированию частиц почвы.

Таблица 3
Table 3

Агрегатный состав почв в зонах поражения лесов аэропромывбросами
The aggregate composition of soils in areas affected by forests by airborne discharges

Разрез Section	Горизонт Horizon	Глубина, см Depth, cm	Скелетность, % Acidity, %	Содержание агрегатов, мм, % Aggregate content, mm, %					
				> 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1
Контрольная зона Control									
1	[AV-EL] _{tr}	9–18	1,8	0,5 0	2,2 0	7,5 0	15,5 0	7,1 0	27,9 0
Зона слабого поражения The zone of weak defeat									
2	[AV-EL] _{tr}	6–17	0,9	9,7 0	1,5 10	7,3 0	26,2 0	12,4 0	26,4 0
Зона среднего поражения Medium damage zone									
3	[AV-EL] _{tr}	8–20	0,2	9,3 0	3,7 0	3,6 0	24,0 10	2,4 10	32,9 0
Зона сильного поражения The zone of severe damage									
4	[AV-EL] _{tr}	8–13	1,0	16,0 10	6,8 0	6,8 0	14,5 0	5,8 0	25,5 20

Примечание. Сухое просеивание / мокрое просеивание.

Note. Dry sieving/wet sieving.

Выводы

Загрязнение территории аэропромывбросами вызывает не только поражение лесных насаждений, но и загрязнение почвенного покрова с проявлением деградационных изменений свойств

почв. Условно положительные свойства возникают при воздействии отходов производства на повышение водопрочности агрегатов и доступность для растений соединений фосфора.

Список источников

- Грибов С. И., Шторм О. Н. Количественная оценка влияния рельефа на формирование почв и структур почвенного покрова агроландшафтов Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 1 (63). С. 31–35.
- Евдокимова Т. И. Почвенная съемка. М. : Изд-во МГУ, 1987. 271 с.
- Зайцева Т. Ф. Почвы контактной полосы северной лесостепи и подтайги Приобья, их генезис и агрономическая оценка // Тр. Института НСХИ. 1970. Т. 43. С. 26–125.
- Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления : учеб. пособие. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 277 с.
- Залесов С. В., Колтунов Е. В. Содержание тяжелых металлов в почве городских лесопарков г. Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала. 2009. № 6. С. 71–72.
- Кауричев И. С. Практикум по почвоведению. М. : Колос, 1980. 272 с.
- Классификация почв России 2004 г. URL: <http://infosoil.ru/index.php?pageID=clas04mode> (дата обращения: 26.04.2024).

- Трифонова Т. А. Формирование почвенного покрова гор: геосистемный аспект // Почвоведение. 1999. № 2. С. 174–181.
- Тюрина И. В. К вопросу о методике изучения органического вещества почвы в биохимическом отношении // Тр. почв. ин-та им. В. В. Докучаева. М., 1934. Т. X. Вып. 4. С. 27–37.
- Фимушкин Б. С. Влияние промышленных выбросов на текущий прирост сосновых древостоев // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск, 1988. Вып. 14. С. 116–122.
- Хлыстов И. А., Сенькова Л. А., Карпухин М. Ферментативная активность почв в зоне загрязнения выбросами медеплавильного завода // Аграрный вестник Урала. 2016. № 01 (143). С. 72–76.
- Шебалова А. М., Залесов С. В. Биоиндикация лесных почв, расположенных в зоне техногенного загрязнения // Лесной вестник / Forestry bulletin. 2007. № 8 (57). С. 99–102.
- Шебалова А. М., Залесов С. В. Лесные экосистемы зон сильного антропогенного загрязнения // Лесной вестник / Forestry bulletin. 2008. № 3 (60). С. 105–107.
- Шебалова А. М., Залесов С. В. Микромицеты лесных почв сосновых насаждений, произрастающих в зонах техногенного загрязнения // НВУЗ. Лесной журнал. 2006а. № 1. С. 8–33.
- Шебалова А. М., Залесов С. В. Оценка состояния почв в зонах техногенного загрязнения // Лесное хозяйство. 2006б. № 2. С. 33–35.
- Юсупов И. А., Луганский Н. А., Залесов С. В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромывбросов. Екатеринбург : УГЛТА, 1999. 185 с.

References

- Classification of soils of Russia 2004. URL: <http://infosoil.ru/index.php?pageID=clas04mode> (accessed 26.04.2024).
- Evdokimova T. I. Soil survey. Moscow : Publishing House of Moscow State University, 1987. 271 p.
- Fimushin B. S. The impact of industrial emissions on the current growth of pine stands // The forests of the Urals and the economy in them. Sverdlovsk, 1988. Issue. 14. P. 116–122. (In Russ.)
- Gribov S. I., Storm O. N. Quantitative assessment of the influence of relief on the formation of soils and soil cover structures of agricultural landscapes of the Altai territory // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2010. № 1 (63). P. 31–35. (In Russ.)
- Kaurichev I. S. Practicum on soil science. Moscow : Kolos, 1980. 272 p.
- Khlystov I. A., Senkova L. A., Karpukhin M. Enzymatic activity of soils in the zone of pollution by emissions from a copper smelter // Agrarian Bulletin of the Urals. 2016. № 01 (143). P. 72–76. (In Russ.)
- Shebalova A. M., Zalesov S. V. Assessment of soil condition in zones of technogenic pollution // Forestry. 2006b. № 2. P. 33–35. (In Russ.)
- Shebalova A. M., Zalesov S. V. Bioindication of forest soils located in the zone of technogenic pollution // Lesnoy vestnik / Forestry bulletin. 2007. № 8 (57). P. 99–102. (In Russ.)
- Shebalova A. M., Zalesov S. V. Forest ecosystems of zones of severe anthropogenic pollution // Lesnoy vestnik / Forestry bulletin. 2008. № 3 (60). P. 105–107. (In Russ.)
- Shebalova A. M., Zalesov S. V. Micromycetes of forest soils of pine plantations growing in zones of technogenic pollution // NVUZ. Lesnoy zhurnal, 2006a. № 1. P. 8–33. (In Russ.)
- Trifonova T. A. Formation of the soil cover of mountains: geosystem aspect // Soil science. 1999. № 2. P. 174–181. (In Russ.)
- Tyurin I. V. On the issue of the methodology for studying soil organic matter in a biochemical sense // Tr. soils. V. V. Dokuchaev Institute. Moscow, 1934. Т. X. Issue 4. P. 27–37. (In Russ.)
- Yusupov I. A., Lugansky N. A., Zalesov S. V. The state of artificial pine young trees in the conditions of aeroprom emissions. Yekaterinburg : UGLTA, 1999. 185 p.

Zaitseva T. F. Soils of the contact strip of the northern forest-steppe and the subtaiga of the Ob region, their genesis and agronomic assessment // Tr. The Institute of the National Academy of Sciences. 1970. Vol. 43. P. 26–125. (In Russ.)

Zalesov S. V., Koltunov E. V. The content of heavy metals in the soil of urban forest parks in Yekaterinburg // Agrarian Bulletin of the Urals. 2009. № 6. P. 71–72. (In Russ.)

Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. The state of forest plantations exposed to the influence of industrial pollutants of Karabashmed CJSC and the reaction of their components to logging : textbook. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering Univ., 2017. 277 p.

Информация об авторах

Л. А. Сенькова – доктор биологических наук, доцент;

О. М. Астафьевая – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Е. Я. Сосновских – магистрант.

Information about the authors

L. A. Senkova – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor;

O. M. Astafieva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

E. I. Sosnovskikh – Master's degree.

Статья поступила в редакцию 29.05.2025; принята к публикации 30.07.2025.

The article was submitted 29.05.2025; accepted for publication 30.07.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 69–76.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 69–76.

Научная статья
УДК 630.283.1:630.187
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.007

ВЫБОРОЧНЫЕ РУБКИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДИКОРАСТУЩИХ ЧЕРНИЧНИКОВ

Юрий Алексеевич Аржанников¹, Игорь Александрович Панин²,
Владислав Сергеевич Кропотин³

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

¹ Wolf1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4345-6879>

² paninia@m.usfeu.ru, [http://orcid.org/0000-0002-7798-3442](https://orcid.org/0000-0002-7798-3442)

³ kropotin.wlad99@yandex.ru

Аннотация. Создание полукультур черники, а именно повышение урожайности дикорастущих черничников путем проведения лесоводственных и агротехнических мероприятий, является одним из направлений развития отрасли заготовок дикорастущих ягод. В настоящее время в России оно не развивается в отличие от выращивания дикоросов на плантациях. Это связано с отсутствием необходимой нормативно-правовой базы для культивирования черничников в лесной среде, а также недостаточным научно-теоретическим обоснованием. В данной работе представлены данные изучения влияния проходных и равномерно-постепенных рубок на ресурсы дикорастущей черники в условиях сосняка ягодникового подзоны средней тайги Свердловской области. Установлено, что снижение полноты древостоя до оптимальной 0,5–0,7 приводит к многократному увеличению продуктивности ягодников. Проективное покрытие черники в таких насаждениях составляет 3,3–60,5 %, надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии – 132,0–2460,0 кг/га, а урожайность достигает 80,4 кг/га. Это почти в два раза выше по сравнению с таковыми в спелых и перестойных насаждениях сосняка ягодникового, где рубок не проводилось. Таким образом, снижение полноты древостоя до оптимальной можно рекомендовать в качестве способа повышения урожайности дикорастущих черничников.

Ключевые слова: черника обыкновенная, *Vaccinium myrtillus* L., дикорастущие ягоды, полукультуры черники, оптимальные полноты, выборочные рубки, сосняк ягодниковый

Для цитирования: Аржанников Ю. А., Панин И. А., Кропотин В. С. Выборочные рубки как способ повышения продуктивности дикорастущих черничников // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 69–76.

Original article

SELECTIVE CUTTING AS A WAY TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF WILD BLUEBERRIES PLANTS

Yuri A. Arzhannikov¹, Igor A. Panin², Vladislav S. Kropotin³

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

¹ Wolf1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4345-6879>

² paninia@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7798-3442>

³ kropotin.wlad99@yandex.ru

Abstract. The creation of semi-crops of blueberries, namely, increasing the yield of wild blueberries plants through forestry and agrotechnical measures, is one of the directions of development of the wild berry procurement industry. Currently, this area is not developing in Russia, unlike the cultivation of wild plants on plantations. This is due to the lack of the necessary regulatory framework for the cultivation of blueberries plants in the forest environment, as well as insufficient scientific and theoretical justification. This article presents data on the research of the effect of continuous and evenly gradual cutting on wild blueberry resources in the conditions of berry-bearing pine forests of the middle taiga subzone of the Sverdlovsk region. It was found that reducing the fullness of the stand to an optimal 0,5–0,7 leads to a multiple increase in berry-bearing plants productivity. The projective coverage of blueberries in such plantations is 3,3–60,5 %, the aboveground phytomass in an absolutely dry state is 132,0–2460,0 kg/ha, and the yield reaches 80,4 kg/ha. This is almost twice as high as in ripe and over-grown plantations, where no cutting was carried out. Thus, reducing the fullness of the stand to optimal can be recommended as a way to increase the yield of wild blueberries plants.

Keywords: blueberries, *Vaccinium myrtillus* L., wild berries, blueberry semi-crops, optimal fullness, selective cutting, berry-bearing pine plant

For citation: Arzhannikov Yu. A., Panin I. A., Kropotin V. S. Selective cutting as a way to increase the productivity of wild blueberries plants // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 69–76.

Введение

Плантационное выращивание дикорастущих ягод во многих странах мира является развитой отраслью с большим товарооборотом. Сегодня она постепенно развивается и на территории Российской Федерации. Проблеме создания плантаций дикоросов в нашей стране посвящено множество актуальных исследований (Проблемы использования..., 2019; Тяк и др., 2020; Перспективы..., 2023 и др.). Общим мнением является перспективность данной отрасли. Плантации лесных ягод позволяют получать стабильный высокий урожай ягод на конкретных территориях с удобной логистикой и наличием доступных трудовых ресурсов. Культивированные дикоросы должны

удовлетворить растущий спрос на лесные ягоды в условиях уменьшения трудоспособного сельского населения и сокращения площадей дикорастущих ягодников под влиянием антропогенных нагрузок. Альтернативой созданию плантаций лесных ягод является их выращивание в лесной среде путем повышения продуктивности уже существующих дикорастущих ягодников. В научной литературе для этого закрепился термин «полукультуры». Основные исследования в данном направлении проводились в 70-е и 80-е годы XX в. и давали положительный результат. Особенно большое внимание уделялось повышению урожайности дикорастущей черники (Валова, 1975; Черкасов, Шутов, 1981; Запаранюк, 1982). Анализ

доступных научных данных показал отсутствие актуальных исследований по данной тематике. Вместе с тем полукультуры черники вполне могут составлять конкуренцию ягодным плантациям, решая схожие задачи.

Известным фактом является наличие зоны экологического оптимума по освещенности подлескового пространства, наиболее благоприятного для роста и плодоношения конкретных видов плодовых растений, подлеска и живого напочвенного покрова. Для черники обыкновенной при редком подросте и подлеске это относительная полнота древостоя в диапазоне от 0,4 до 0,7. При меньших полнотах черника испытывает стресс, так как повреждается прямыми солнечными лучами, а при больших – нехватку солнечного света (Коростелев и др., 2010; Годовалов и др., 2018). Добиться повышения продуктивности дикорастущих черничников возможно посредством регулирования густоты древостоя рубками.

Вопросу влияния рубок на запасы и урожайность дикорастущей черники посвящено немало исследований, однако в них рассматриваются преимущественно последствия сплошных рубок (Зворыкина, 1972; Курлович, 1988; Торопова, Старицын, 2019). Исследователи сходятся во мнениях, что сплошные рубки пагубно сказываются на ресурсах дикорастущей черники. Вопрос влияния выборочных и постепенных рубок на дикорастущие черничники изучен недостаточно.

Важно отметить, что в настоящее время ресурсы дикорастущих ягод при проектировании лесохозяйственных мероприятий в России не принимаются во внимание. В частности, не существует соответствующей нормативно-правовой базы. Для ее возникновения и обоснования требуется всестороннее изучение вопроса изменений ресурсов дикорастущих ягод в послерубочный период.

Цель, задача, методика и объекты исследования

Нашей целью является установление ресурсов дикорастущей черники после выборочных и постепенных рубок в условиях сосняка ягодникового (С. яг.) подзоны средней тайги Свердловской

области. Для этого на территории Уральского учебно-опытного лесхоза (УУОЛ УГЛТУ) были подобраны участки, на которых были заложены пробные площади (ПП) по общепринятым в лесных науках методикам. Это места проведения выборочных рубок различной давности, а также первого приема равномерно-постепенных рубок. Всего было заложено 11 ПП. В табл. 1 представлена их таксационная характеристика. Давность проведения рубки варьирует от 4 до 14 лет, текущая относительная полнота – от 0,5 до 0,8. Относительные полноты до рубки составляли 0,8–1,0, после рубки – 0,5–0,7. Снижение полноты в результате частичной уборки древостоя составило 0,2–0,3. На момент закладки ПП по истечении времени после рубок полноты некоторых древостояев увеличились до 0,6–0,8. По возрасту насаждения варьируют от 65 до 130 лет. В приспевающих древостоях проводились проходные рубки (ПРХ), в спелых и перестойных – 1-й прием равномерно-постепенных рубок (РПР).

В качестве контроля были также использованы данные из наших ранее опубликованных работ о ресурсах черники в спелых и перестойных насаждениях С. яг. на территории подзоны средней тайги Свердловской области (Панин, Аржанников, 2024).

ЖНП изучался на учетных площадках размером $0,25 \times 0,25$ м, которые закладывались по ходовым линиям через равные расстояния в количестве, необходимом для обеспечения точности учета в 10 %. На них в соответствии с общепринятыми методиками определялся видовой состав растений, их проективное покрытие, надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии и текущий урожай плодов (Бунькова и др., 2020; Панин, Белов, 2022). Сушка проводилась в лабораторных условиях с использованием сушильного шкафа при температуре 95 °С. Для сушки применялись взятые с каждой ПП навески надземных частей растений. Спелые и целые плоды черники пересчитывались и взвешивались. Отдельно учитывались неспелые и поврежденные ягоды. Их вес определялся путем умножения количества на среднюю массу 100 ягод черники, собранных на данной ПП.

Таблица I
Table I

Таксационные характеристики ПП
Taxation characteristics of PP

№ ПП № PP	Кв. Quarter	Выд. District	Вид рубки Type of logging	Год вырубки / давность, лет Year of deforestation / ago, years	Возраст Age	Относительные полноты Relative completeness			Состав древостоя Composition of stand
						до рубки before logging	после рубки after logging	на момент учета at time of study	
1	26	11	РПР EGL	2002 12	130	0,7	0,5	0,6	10C 10P
2	25	11	ПРХ PLIF	2000 14	85	0,9	0,7	0,8	6C4Б+С 6P4B+P
3	28	7	ПРХ PLIF	2018 6	65	0,8	0,6	0,6	4P1Л5Б 4P1L5B
4	28	43	РПР EGL	2016 8	110	0,9	0,7	0,7	7P1Л2B+E 7P1L2B+F
5	28	26	РПР EGL	2018 6	70	0,9	0,7	0,8	7P3B+Л 7P3B+L
6	22	22	РПР EGL	2018 6	110	0,8	0,5	0,5	7C1Л2B 7P1L2B
7	22	13	ПРХ PLIF	2018 6	65	0,9	0,7	0,7	5C5Б+ЛП,Л 5P5B+Lin,L
8	22	18	РПР EGL	2020 4	130	0,8	0,5	0,5	4C2C1Л3Б 4P2P1L3B
9	22	19	ПРХ PLIF	2020 4	65	1	0,7	0,7	5P5Б+Л,С 5P5B+L,C
10	6	41	РПР EGL	2016 8	130	0,9	0,7	0,7	6P4Б+Л 6P4B+L
11	6	9	ПРХ PLIF	2016 8	70	0,9	0,7	0,7	5P5Б 5P5B

Примечание. РПР – равномерно-постепенная рубка; ПРХ – проходная рубка; С – сосна; Б – береза; Л – лиственница; Е – ель; ЛП – липа.

Note. EGL – evenly gradual logging; PLIF – partial logging of immature forests; P – pine; B – birch; L – larch; E – spruce; Lin – linden.

Результаты и их обсуждение

Полученные на ПП показатели запасов черники обыкновенной представлены в табл. 2. Надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии варьирует в диапазоне от 112,0 до 2460 кг/га при проективном покрытии от 2,8 до 61,5 % и урожайности от 0 до 80,4 кг/га. Это позволяет однозначно утверждать, что насаждения С. яг. спустя 4–14 лет после уборки части древостоя многократно превышают по запасам черники спелые и перестойные насаждения, где ранее рубок не проводилось. Для сравнения: их надземная фитомасса черники в абсолютно сухом

состоянии – 12,7–426,3 кг/га, проективное покрытие – 2,1–11,8 %, а урожайность не превышает 39,8 кг/га.

Никакой разницы по ресурсному потенциалу черники в насаждениях после проходных рубок и первого приема равномерно-постепенных не прослеживается. Параметры сопоставимы и отличаются незначительно. Также не установлено зависимости показателей запаса черники от относительной полноты древостоев. Корреляционный анализ показал, что связь между относительными полнотами и ресурсами черники в насаждениях после проходных и равномерно-постепенных

Таблица 2
Table 2

Показатели запасов черники обыкновенной на объектах исследования
Indicators of stocks of blueberries according to the objects of the study

№ ПП № PP	Давность, лет Ago, years	Надземная фитомасса абсолютно сухая, кг/га Aboveground phytomass is absolutely dry, kg/ha	Проективное покрытие, % Projective cover, %	Урожай плодов, кг/га Fruit yield, kg/ha
Проходная рубка Partial logging of immature forests				
9	4	1340,0	33,5	73,8
3	6	2460,0	61,5	80,4
7	6	435,0	10,9	7,3
11	8	1355,6	33,9	62,0
2	14	132,0	3,3	0,0
Равномерно-постепенная рубка Evenly gradual logging				
8	4	1715,0	42,9	62,0
5	6	700,0	17,5	16,4
6	6	385,0	9,6	21,9
4	8	308,6	7,7	0,0
10	8	1352,0	33,8	26,2
1	12	112,0	2,8	3,3
Контроль (Панин, Аржанников, 2024) Control (Panin, Arzhannikov, 2024)		12,7–426,3	2,1–11,8	0–39,8

рубок отсутствует. Значение коэффициента корреляции r_{xy} по всем трем установленным параметрам меньше 0,1. При этом полноты рассматривались текущие (на момент учета), итоговые после рубки, а также исходные (до рубки). Связи нет во всех трех случаях. На этом необходимо заострить внимание, поскольку связь ресурсов черники и относительных полнот является подтвержденным фактом, установленным в различных исследованиях (Коростелев и др., 2010; Годовалов и др., 2018). В том числе данная закономерность прослеживается в спелых и перестойных насаждениях С. яг. района проведения исследования, где выборочные и постепенные рубки первого приема не проводились (Панин, Аржанников, 2024).

Исходной гипотезой было то, что запасы черники будут меняться по мере увеличения давности рубки, однако полученные данные ее опровергают. При анализе всех трех показателей и возможной связи с давностью рубки никакой системы или закономерности не наблюдается.

На данном этапе у нас нет данных, чтобы делать предположения о причинах отсутствия данных связей на объектах нашего исследования или полностью исключить фактор случайности. Можно отметить, что в насаждениях С. яг. спустя 4–14 лет после частичной уборки древостоя развитие ЖНП может идти по различным сценариям под влиянием множества факторов, из-за чего количественные показатели запасов оказываются мало предсказуемыми. В том числе относительные

полноты и давность рубки оказываются ненадежными предикторами. К примеру, при одинаковой относительной полноте 0,7 проективное покрытие черники может варьировать от 2,8 до 17,5 %, при одинаковой давности рубки 8 лет – от 7,7 до 33,9 %. Можно констатировать, что данный вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Также отметим, что далеко не каждое из исследуемых насаждений после снижения полноты древостоя в ходе рубок характеризуется наличием значительных ресурсов черники. На двух ПП урожайность отсутствовала, еще на 3 составила всего 3,3–16,4 кг/га. Проективное покрытие черники на 4 ПП из 11 менее 10 %. Все эти насаждения находятся в оптимальных условиях по относительным полнотам. Кроме того, после рубки прошло достаточно времени для разрастания кустарничков черники. Таким образом, повышение ресурсов черники после частичной уборки древостоя не является гарантированным результатом.

Выводы

1. Выборочные и проходные рубки позволяют многократно увеличить запасы дикорастущей черники в условиях С. яг. подзоны средней тайги Свердловской области. Урожай плодов в таких насаждениях достигает 84 кг/га, что в два раза выше, чем в спелых и перестойных насаждениях, где рубок не проводилось.
2. В изучаемых насаждениях связи запасов черники с давностью рубки и относительными полнотами не прослеживается.
3. Проведение рубок, снижающих полноту древостоя до 0,5–0,7, можно рассматривать как действенный способ повышения урожайности дикорастущих черничников.
4. С помощью частичной уборки древостоя можно значительно повысить урожайность имеющихся продуктивных зарослей, однако данное лесохозяйственное мероприятие не гарантирует развитие в С. яг. черничника.

Список источников

- Бунькова Н. П., Залесов С. В., Залесова Е. С. Основы фитомониторинга. Изд. 3-е, доп. и перераб. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
- Валова З. Г. Повышение продуктивности черничников в Белоруссии // Лесное хозяйство. 1975. № 9. С. 74–76.
- Годовалов Г. А., Залесов С. В., Коростелев А. С. Недревесная продукция леса. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. : Юрайт, 2018. 351 с.
- Запаранюк А. Е. Повышение урожайности дикорастущих ягодников путем применения минеральных удобрений на Урале : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.03 / Запаранюк Александр Евгеньевич. Свердловск, 1982. 229 с.
- Зворыкина К. В. Влияние вырубки на урожайность черники // Продуктивность дикорастущих ягодников и их хозяйственное использование. Киров : ВНИИХОЗ, 1972. С. 17–19.
- Коростелев А. С., Залесов С. В., Годовалов Г. А. Недревесная продукция леса : учебник. Екатеринбург : УГЛТУ, 2010. 480 с.
- Курлович Л. Е. Динамика проективного покрытия черники и видового состава травяно-кустарничкового яруса в сосновых – черничниках после рубок главного пользования // Вопросы лесного охотоведения и недревесной продукции леса. М. : ВНИИЛМ, 1988. С. 75–79.
- Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области / С. С. Макаров, Е. С. Багаев, С. Ю. Цареградская, И. Б. Кузнецова // Лесной журнал. 2019. № 6. С. 118–131.
- Панин И. А., Аржанников Ю. А. Ресурсы черники обыкновенной в насаждениях сосняка ягодникового подзоны средней тайги Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 26–34.

- Панин И. А., Белов Л. А. Определение ресурсов дикорастущих пищевых и лекарственных растений : учеб. пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 87 с.
- Перспективы плантационного выращивания лесных ягодных растений в северных регионах России / С. С. Макаров, Г. В. Тяк, А. И. Чудецкий [и др.] // Арктика 2035 : актуальные вопросы, проблемы, решения. 2023. № 3 (15). С. 62–77.
- Торопова Е. В., Старицын В. В. Продуктивность черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в экотонной зоне вырубки // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий : сб. матер. Всерос. конф. с междунар. участием. II Юдахинские чтения, Архангельск, 24–28 июня 2019 года / отв. ред. И. Н. Болотов. Архангельск : ОМ-медиа, 2019. С. 407–412.
- Тяк Г. В., Макаров С. С., Курлович Л. Е. Выращивание лесных ягодных растений в России: современное состояние и перспективы // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : матер. Всерос. V науч.-техн. конф.-вебинара, Санкт-Петербург, 16–18 июня 2020 года / СПб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова. СПб. : Политех-Пресс, 2020. С. 254–256.
- Черкасов А. Ф., Шутов В. В. Способы, оптимальные сроки заготовки дикорастущих ягод и пути повышения продуктивности естественных зарослей ягодников семейства брусничных : метод. рекомендации. М., 1981. 30 с.

References

- Bunkova N. P., Zalesov S. V., Zalesova E. S. Fundamentals of phytomonitoring. 3rd edition, expanded and revised. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 90 p.
- Cherkasov A. F., Shutov V. V. Methods, optimal timing of harvesting wild berries and ways to increase the productivity of natural berry crops of the lingonberry family : Method. rec. Moscow, 1981. 30 p.
- Godovalov G. A., Zalesov S. V., Korostelev A. S. Non-timber forest production 4th ed., revised and an additional edition. Moscow : Yurait, 2018. 351 p.
- Korostelev A. S., Zalesov S. V., Godovalov G. A. Non-timber forest production : textbook. Yekaterinburg : UGLU, 2010. 480 p.
- Kurlovich L. E. Dynamics of the projective cover of blueberries and the species composition of the herbaceous shrub layer in blueberry pine forests after logging of the main use. // Issues of forest hunting and non-timber forest products. Moscow : VNIILM, 1988. P. 75–79. (In Russ.)
- Panin I. A., Arzhannikov Yu. A. Resources of common blueberry in the deposits of berry pine of the middle taiga subzone of the Sverdlovsk region // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 26–34. (In Russ.)
- Panin I. A., Belov L. A. Determining the resources of wild food and medicinal plants : A textbook. Yekaterinburg : UGLTU, 2022. 87 p.
- Problems of using and reproducing phytogenic food and medicinal forest resources on the lands of the Kostroma Region forest fund / S. S. Makarov, E. S. Bagaev, S. Y. Tsaregradskaya, I. B. Kuznetsova // Forest Journal. 2019. № 6. P. 118–131. (In Russ.)
- Prospects of plantation cultivation of forest berry plants in the northern regions of Russia / S. S. Makarov, G. V. Tyak, A. I. Chudetsky [et al.] // Arctic 2035: current issues, problems, solutions. 2023. № 3 (15). P. 62–77. (In Russ.)
- Toropova E. V., Staritsyn V. V. Productivity of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) in the ecotone cutting zone // Problems of ensuring environmental safety and sustainable development of Arctic territories : proceedings of the All-Russian Conference with international participation. II Yudakhinsky readings, Arkhangelsk, June 24–28, 2019 / The responsible editor is I. N. Bolotov. Arkhangelsk : OM-media, 2019. P. 407–412. (In Russ.)

- Tyak G. V., Makarov S. S., Kurlovich L. E. Cultivation of wild berry plants in Russia: current state and prospects // Forests of Russia: politics, industry, science, education : proceedings of the All-Russian V Scientific and Technical Conference-webinar, St. Petersburg, June 16-18, 2020 / St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov. Saint Petersburg : Polytech Press, 2020. P. 254–256. (In Russ.)*
- Valova Z. G. Increasing the productivity of blueberries in Belarus // Forestry. 1975. № 9. P. 74–76. (In Russ.)*
- Zaparanyuk A. E. Increasing the yield of wild berries by using mineral fertilizers in the Urals : dissertation for the degree of Candidate of agricultural Sciences in the field of 06.03.03 / Zaparanyuk Alexander Evgenievich. Sverdlovsk, 1982. 229 p.*
- Zvorykina K. V. The effect of logging on blueberry yields // Productivity of wild berries and their economic use. Kirov : All-Union Scientific Research Institute of Hunting and Animal Husbandry, 1972. P. 17–19. (In Russ.)*

Информация об авторах

Ю. А. Аржанников – аспирант;

И. А. Панин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

В. С. Кропотин – магистр.

Information about the authors

Yu. A. Arzhannikov – postgraduate student;

I. A. Panin – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

V. S. Kropotin – Master's degree.

Статья поступила в редакцию 25.04.2025; принята к публикации 03.07.2025.

The article was submitted 25.04.2025; accepted for publication 03.07.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 77–85.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 77–85.

Научная статья
УДК 630*43:630*9:630*931
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.008

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Илья Михайлович Секерин

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия
Sekerinim@mail.ru, <http://orid.org/0000-0003-3492-4322>

Аннотация. Проанализированы возможности и экономическая эффективность замены самолетов на беспилотные летательные аппараты при организации авиапатрулирования. Установлено, что себестоимость охраны лесов от пожаров во многом зависит от марки беспилотного летательного аппарата, правильности выбора маршрутов патрулирования и зоны охраны. Патрулирование лесов в зоне наземного патрулирования существенно отличается от такового в зоне авиационного патрулирования. Последнее свидетельствует о необходимости расчета результативности и экономической эффективности использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отдельно по зонам патрулирования. Расходы на проведение авиационного патрулирования с применением дешевых БПЛА соизмеримы с расходами на проведение авиационного патрулирования с привлечением пилотной авиации. Внедрение в систему мониторинга БПЛА в наземной зоне патрулирования позволит увеличить осматриваемость площади лесфонда Нижегородской области с 59 до 93 %, при этом ожидается, что доля обнаруженных пожаров увеличится с 66 до 87 %. Указанное позволит сократить количество маршрутов наземного патрулирования на 44,2 % и сэкономить средства в размере 4561,46 тыс. руб. С экономической точки зрения проведение мониторинга с использованием БПЛА в наземной зоне более чем в 5,6 раза экономичнее наземного патрулирования. Отсутствие практического опыта применения БПЛА в целях мониторинга пожарной опасности вызывает необходимость проведения комплекса испытательных работ в различных регионах, инфраструктурных, экономических и природно-климатических условиях для подтверждения заявленных характеристик и установления факторов, влияющих на проведение работ по мониторингу.

Ключевые слова: лесной пожар, авиапатрулирование, беспилотный летательный аппарат, мониторинг пожарной опасности

Для цитирования: Секерин И. М. Организация обнаружения лесных пожаров с использованием беспилотных летательных аппаратов // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 77–85.

Original article

ORGANIZATION OF FOREST FIRE DETECTION USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Ilya M. Sekerin

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia
Sekerinim@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3492-4322>

Abstract. The article analyzes the possibilities and economic efficiency of replacing airplanes with unmanned aerial vehicles when organizing aerial patrols. It has been established that the cost of protecting forests from fires largely depends on the brand of the unmanned aerial vehicle, the correctness of the choice of patrol routes and protection zones. Patrolling forests in the ground patrol zone differs significantly from that in the aerial patrol zone. The latter indicates the need to calculate the effectiveness and economic efficiency of using unmanned aerial vehicles (UAVs) separately for patrol zones. The costs of conducting aerial patrols using cheap UAVs are comparable to the costs of conducting aerial patrols using pilot aircraft. The introduction of UAVs into the ground patrol zone monitoring system will increase the visibility of the forest fund area of the Nizhny Novgorod region from 59 to 93 %, while it is expected that the share of detected fires will increase from 66 to 87 %. This will reduce the number of ground patrol routes by 44,2 % and save funds in the amount of 4561,46 thousand rubles. From an economic point of view, monitoring using UAVs in the ground zone is more than 5.6 times more economical than ground patrols. The lack of practical experience in using UAVs for fire hazard monitoring necessitates a range of testing activities in various regions, infrastructural, economic and natural-climatic conditions to confirm the declared characteristics and establish the factors influencing the monitoring activities.

Keywords: forest fire, aerial patrol, unmanned aerial vehicle, fire hazard monitoring

For citation: Sekerin I. M. Organization of forest fire detection using unmanned aerial vehicles // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 77–85.

Введение

Эффективная охрана лесов от пожаров может быть обеспечена только при условии противопожарного устройства охраняемой территории, оперативного обнаружения и умело организованного тушения лесных пожаров (Залесов, Миронов, 2004; Залесов и др., 2010; Марченко, Залесов, 2013; Новый способ..., 2014; Кректунов, Залесов, 2017; Залесов, 2021; Опыт..., 2023; Оценка..., 2024). При этом определяющее значение имеет площадь лесного пожара в момент его обнаружения, поскольку задержка с обнаружением резко увеличивает площадь пожара, а следовательно, объем затрат на его ликвидацию (Архипов, Залесов, 2017; Залесов и др., 2013, 2014; Залесов, Залесова, 2014; Эффективный способ..., 2023). Не случайно в учебниках и нормативно-правовых документах по охране лесов от пожаров обнаружению их уде-

ляется повышенное внимание и предлагается целый ряд способов решения задачи своевременного обнаружения (Залесов и др., 2024; Куксин и др., 2024; Уточненная шкала..., 2024; Ерицов и др., 2024, 2025; Шкала..., 2025).

Учитывая значительную площадь лесного фонда Российской Федерации и слабую его освоенность дорожной сетью, одним из основных способов обнаружения является авиапатрулирование. Последнее заключается в периодическом облете охраняемой территории на каком-либо самолете, в процессе которого летчик-наблюдатель фиксирует возгорания и сообщает об этом в единую диспетчерскую службу для отправки к месту пожара сил пожаротушения.

Кратность облетов зависит от класса пожарной опасности по условиям погоды. При этом осмотр лесного пожара с высоты полета позволяет

летчику-наблюдателю составить план тушения с учетом имеющихся естественных и искусственных барьеров.

К недостаткам авиапатрулирования можно отнести высокую стоимость летного времени, зависимость от погодных условий, необходимость наличия нескольких летчиков-наблюдателей. Указанные недостатки нередко являются определяющими при организации тушения лесных пожаров. Так, в частности, отсутствие необходимых средств на аренду летательных судов исключает оперативность обнаружения лесных пожаров, а также делает невозможным осуществление кратности патрулирования. Кроме того, необходимость проведения регламентных работ при ограниченном количестве самолетов создает опасность несвоевременного обнаружения и осуществления мониторинга имеющихся лесных пожаров.

Указанное свидетельствует о необходимости снижения затрат на авиапатрулирование с целью его более широкого применения.

Цель, методика и объекты исследования

Цель работы – разработка проекта использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга пожарной опасности в лесном фонде Нижегородской области.

В ходе выполнения работы проанализированы технические характеристики беспилотных летательных аппаратов самолетного типа, возможных для осуществления мониторинга лесного фонда Нижегородской области.

На основе баз данных лесоустроительных материалов проанализирован лесной фонд Нижегородской области. Намечены маршруты авиапатрулирования, а также рассчитаны затраты на проведение авиапатрулирования с использованием двух моделей БПЛА и легкомоторного самолета Цесна-172. Выполнен анализ затрат на авиапатрулирование, а также себестоимости патрулирования на 1 га охраняемой территории лесного фонда.

Все расчеты выполнены для зон авиационного и наземного мониторинга. В районе наземного мониторинга проанализирована эффективность стационарного обнаружения лесных пожаров (ви-

деомониторинга) и наземного маршрутного патрулирования.

Результаты и их обсуждение

Лесной фонд Нижегородской области разделен на две зоны: авиационного и наземного мониторинга.

Авиационная зона занимает 2738,4 тыс. га и включает 7 маршрутов, выполняемых легкомоторным самолетом Цесна-172. Общая протяженность маршрутов составляет 1680 км. Стоимость работ по мониторингу лесного фонда при расчетах по ценам ранее заключенных контрактов составляет 9,58 руб./га при цене летного часа 36,4 тыс. руб. и 17,33 руб./га при расчетах по среднерыночным ценам в среднем по РФ – 69,32 тыс. руб./ч.

Зона наземного мониторинга занимает 1056,3 тыс. га. Мониторинг осуществляется авиапатрулированием по 19 маршрутам общей протяженностью 1215 км.

В целях снижения стоимости авиапатрулирования планируется использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) самолетного типа OG-25 и Inno Vtol-3s.

Авиационный мониторинг предполагается осуществлять по маршрутам на высоте полета 500–1000 м от уровня земной поверхности. Движение БПЛА по маршруту осуществляется в автоматическом режиме с осмотром территории лесного фонда на расстоянии 20 км в обе стороны от маршрута.

При обнаружении лесного пожара оператор БПЛА переводит управление в ручной режим и корректирует маршрут БПЛА для осмотра места предполагаемого пожара.

После осмотра и подтверждения наличия очага пожара информация о координатах его оператором БПЛА передается в диспетчерскую службу лесничества и в региональную диспетчерскую службу Министерства лесного хозяйства и охраны животного мира Нижегородской области.

После осмотра лесного пожара БПЛА возвращается на маршрут для продолжения автономного полета.

На основе спроектированных маршрутов и необходимой кратности патрулирования было рассчитано количество необходимых летных часов,

количество БПЛА и стоимость работ по их эксплуатации.

В настоящее время в наземной зоне мониторинга пожарной опасности основным видом является видеомониторинг.

На его долю приходится 48,0 % охраняемой территории. При этом видеомониторинг перекрывает 60,3 % утвержденных маршрутов наземного патрулирования. Данный способ мониторинга позволяет обнаружить 66,0 % возникающих пожаров. Эффективность наземного маршрутного патрулирования значительно ниже. Оно перекрывает всего 4,5 % территории и позволяет выявить от 1 до 17,5 % возникающих в наземной зоне пожаров.

Несмотря на наличие двухуровневой системы наземного мониторинга на территории региона продолжают существовать белые пятна – зоны, в которых обнаружение пожаров этими способами затруднено либо невозможно. Площадь таких зон составляет 202,06 тыс. га, или 41 % территории. В связи с этим на основании многолетних данных установлено, что при существующей организации наземный мониторинг способен выявить только 66 % возникающих пожаров.

Поскольку уже имеется опыт обнаружения лесных пожаров с помощью БПЛА (Ерицов и др.,

2024), а также разработаны шкалы пожарной опасности по условиям погоды (Шкала..., 2025), предложен способ мониторинга с использованием БПЛА с разработкой 5 маршрутов общей протяженностью 758 км.

Расчеты свидетельствуют, что использование БПЛА позволит:

- увеличить долю осматриваемой территории с 59 до 93 %, что улучшит обнаружение пожаров с 66 до 87 %;

- сократить количество маршрутов наземного патрулирования на 44,2 %, что обеспечит ежегодную экономию финансовых средств на 4561,46 тыс. руб.;

- в наземной зоне мониторинга в 5,6 раза сократить расходы на обнаружение лесных пожаров.

Как было отмечено ранее, экономическая эффективность будет в значительной степени зависеть от используемого БПЛА. Стоимость БПЛА OG-25 значительно превышает таковую у БПЛА Inno Vlot-3S, что не может не сказаться на стоимости выполнения работ по мониторингу.

Данные о себестоимости работ при различных способах мониторинга в зоне авиамониторинга приведены в табл. 1.

Таблица I
Table I

Характеристика разных видов авиамониторинга
Characteristics of different types of aviation monitoring

Способ проведения мониторинга The method of monitoring	Обслуживаемая площадь, тыс. га Serviced area, thousand hectares	Количество необходимого летнего времени, ч The amount of required flight time, hour	Прямые затраты, (в т.ч. амортизация оборудования), руб. Direct costs (including depreciation of equipment), rub.	Стоимость летного часа, тыс. руб./ч The cost of a flight hour, thousand rubles /hour	Стоимость мониторинга, руб./га Cost of monitoring, rub/ha
<i>I</i>	2	3	4	5	6
Без учета существующей системы видеомониторинга Excluding the existing video monitoring system					
Авиационное патрулирование с привлечением пилотируемой авиации (по стоимости летного часа согласно заключенному контракту) Air patrols involving manned aircraft (according to the cost of a flight hour according to the concluded contract)	2738,4	646,57	23 573 942	36,4	9,58

Окончание табл. I
The end of the table I

1	2	3	4	5	6
Авиационное патрулирования с привлечением пилотируемой авиации (по среднерыночной стоимости летного часа) Aviation patrols involving manned aircraft (at the average cost per flight hour in Russia)	2738,4	646,57	44 820 232	69,32	17,33
Размер ежегодных затрат на проведение авиационного патрулирования с применением БПЛА OG-25 The amount of annual expenses for conducting air patrols using the OG-25 UAV		3173,33	44 729 704 (26 007 784)	14,08	16,33
С учетом существующей системы видеомониторинга Taking into account the existing video monitoring system					
Авиационное патрулирования с привлечением пилотируемой авиации (по стоимости летного часа согласно заключенному контракту) Air patrols involving manned aircraft (according to the cost of a flight hour, according to the concluded contract)	1762,3	416,10	15 171 006	36,40	9,58
Авиационное патрулирования с привлечением пилотируемой авиации (по среднерыночной стоимости летного часа) Aviation patrols involving manned aircraft (at the average cost per flight hour in Russia)		416,10	28 835 730	69,32	17,33
Размер ежегодных затрат на проведение авиационного патрулирования с применением БПЛА OG-25 The amount of annual expenses for conducting air patrols using the OG-25 UAV		1339,6	25 753 945 (16 187 305)	20,76	14,61
Размер ежегодных затрат на проведение авиационного патрулирования с применением БПЛА InnoVtol-3s The amount of annual expenses for conducting aviation patrols using the InnoVtol-3s UAV		1507,1	17 787 280 (8 220 640)	11,80	10,09

Примечание. Расчет ведется исходя из цены заключенного в регионе контракта 36,4 тыс. руб./ч, данная цена является демпинговой и была получена в результате торгов в Нижегородской области, фактически средняя цены в России на такие работы выше в 1,9 раза и составляет 69,32 тыс. руб./ч.

Note. The calculation is based on the price of a contract concluded in the region of 36,4 thousand rubles/hour, this price is a dumping price and was obtained as a result of bidding in the Nizhny Novgorod region, in fact, the average price in Russia for such work is 1,9 times higher and amounts to 69,32 thousand rubles/hour.

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что расходы на авиапатрулирование с применением более дешевого БПЛА Inno Vtol-3S в условиях Нижегородской области соизмеримы с расходами на проведение авиационного патрулирования с привлечением пилотируемой авиации со стоимостью летного часа согласно заключенным договорам. При этом расходы на проведение авиационного патрулирования с применением БПЛА ниже, чем стоимость проведения авиационного патрулирования с привлечением пилотной авиации из расчета

стоимости летного часа по среднерыночным ценам на территории Российской Федерации.

Наиболее эффективно применение авиапатрулирования с использованием БПЛА в зоне наземного мониторинга, где он заменяет значительно менее эффективный способ мониторинга – наземное патрулирование (табл. 2).

Материалы табл. 2 наглядно свидетельствуют об экономической целесообразности применения БПЛА Inno Vtol-3S при мониторинге пожарной обстановки в зоне наземного мониторинга.

Таблица 2
Table 2

Характеристика зоны наземного мониторинга
Characteristics of ground monitoring area

Способ проведения мониторинга The method of monitoring	Обслуживаемая площадь, тыс. га Serviced area, thousand hectares	Количество необходимого летного времени, ч The amount of required flight time, hour	Прямые затраты (в т.ч. амортизация оборудования), руб. Direct costs (including depreciation of equipment), rub.	Стоимость летного часа, тыс. руб./ч The cost of a flight hour, thousand rubles /hour	Стоимость мониторинга, руб./га Cost of monitoring, rub/ha
Зона наземного мониторинга Ground monitoring area					
Наземное патрулирование без привлечения БПЛА Ground patrols without involving UAVs	47,2 224,4*	9 841,5 (1 025,52)	10 320,05 (1 025,52)	—	218,66 45,99*
Наземное патрулирование с привлечением БПЛА Ground patrols involving UAVs	20,8 125,2*	5 491,6 (572,24)	5 758,59 (572,24)	—	276,85 46,00*
Проведение авиационного патрулирования с применением БПЛА InnoVtol-3s Conducting aviation patrols using InnoVtol-3s UAVs	605,2	3 069,9 (8 156,45)	23 546,45 (8 156,45)	7,67	38,90

* Расчет ведется исходя из цены заключенного в регионе контракта 36,4 тыс. руб./ч, данная цена является демпинговой и была получена в результате торгов в Нижегородской области, фактически средняя цена в России на такие работы выше в 1,9 раза и составляет 69,32 тыс. руб./ч.

При расчете ширина осматриваемой территории – до 0,5 км в каждую сторону от оси маршрута.

* The calculation is based on the price of a contract concluded in the region of 36,4 thousand rubles/hour, this price is a dumping price and was obtained as a result of bidding in the Nizhny Novgorod region, in fact, the average price in Russia for such work is 1,9 times higher and amounts to 69,32 thousand rubles/hour.

When calculating the width of the surveyed area – up to 0.5 km in each direction from the axis of the route.

Выводы

1. Организация патрулирования лесов в зонах наземного и авиационного патрулирования существенно отличается как способами патрулирования, так и требованиями соблюдения кратности патрулирования. Следовательно, результативность и экономический эффект от внедрения БПЛА необходимо рассчитывать индивидуально по каждой зоне.

2. Расходы на проведение авиационного патрулирования с применением БПЛА в условиях Нижегородской области намного выше (16,33 руб./га) расходов на проведение авиационного патрулирования с привлечением пилотируемой авиации в рамках заключенных контрактов (9,58 руб./га) и соизмеримы с расходами, рассчитанными по среднесуточной стоимости летного часа в России (17,33 руб./га).

3. Расходы на проведение авиационного патрулирования с применением БПЛА типа Inno Vtol-3S с учетом существующей системы мониторинга (10,09 руб./га) соизмеримы с расходами на проведение авиационного патрулирования с применением пилотируемой авиации даже в условиях допинга цен в рамках заключенных Нижегородской областью контрактов (9,58 руб./га) и существенно ниже расходов, рассчитанных по среднерыночной стоимости летного часа в России (17,33 руб./га).

4. Внедрение в систему мониторинга БПЛА в наземной зоне позволит увеличить осматриваемую площадь с 59 до 93 % от площади государственного лесного фонда Нижегородской области, при этом ожидается, что доля обнаружения лесных пожаров повысится с 60 до 87 %. Применение БПЛА позволит сократить количество маршрутов наземного патрулирования на 44,2 %, что приведет

к ежегодной экономии финансовых средств в размере 4561,46 тыс. руб.

5. С экономической точки зрения проведение мониторинга с использованием БПЛА в наземной зоне более чем в 5,6 раза экономичнее, чем осуществление наземного патрулирования.

6. Из-за отсутствия, точнее недостатка, практического опыта применения БПЛА все расчеты были проведены теоретически на основе техни-

ческих характеристик, представленных производителями. Для оценки качества проведения мониторинга с использованием БПЛА необходимо провести комплекс испытательных работ в различных регионах, инфраструктурных, экономических и природно-климатических условиях для подтверждения заявленных характеристик и выявления факторов, влияющих на проведение работ по мониторингу пожарной опасности.

Список источников

- Архипов Е. В., Залесов С. В. Динамика лесных пожаров в Республике Казахстан и их экологические последствия // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4 (158). С. 10–15.
- Ерицов А. М., Безденежных И. В., Залесов С. В. Необходимость координации усилий по совершенствованию охраны лесов от пожаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 22–33. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253. 22-33
- Ерицов А. М., Секерин И. М., Залесов С. В. Совершенствование беспилотных летательных аппаратов для обнаружения и мониторинга лесных пожаров // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 5. DOI: 10.60797/IRJ. 2024.143.15
- Залесов С. В. Лесная пирология : учебник. Изд. 4-е, перераб. и доп. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2021. 396 с.
- Залесов С. В., Годовалов Г. А., Кректунов А. А. Система пожаротушения NATISK для остановки и локализации лесных пожаров // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2014/3/17.pdf> (дата обращения: 10.07.2025).
- Залесов С. В., Годовалов Г. А., Платонов Е. П. Уточненная шкала распределения участков лесного фонда по классам природной пожарной опасности // Аграрный вестник Урала. 2013. № 10 (116). С. 45–49.
- Залесов С. В., Залесова Е. С. Лесная пирология. Термины, понятия, определения. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 54 с.
- Залесов С. В., Куксин Г. В., Секерин И. М. Оборудование и инструменты для обнаружения и обследования торфяных пожаров. Екатеринбург : УГЛТУ, 2024. 94 с.
- Залесов С. В., Магасумова А. Г., Новоселова Н. Н. Организация противопожарного устройства насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 4. С. 60–63.
- Залесов С. В., Миронов М. П. Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. 138 с.
- Кректунов А. А., Залесов С. В. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. Екатеринбург : Урал. и ГПС МЧС России, 2017. 162 с.
- Куксин Г. В., Секерин И. М., Залесов С. В. Обнаружение зимующих торфяных пожаров дистанционными методами // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2024. Т. 28, № 4. С. 53–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65
- Марченко В. П., Залесов С. В. Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР «Ертыс Орманы» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 10 (108). С. 55–59.

- Новый способ создания заградительных и опорных противопожарных полос / С. В. Залесов, Г. А. Годовалов, А. А. Кректунов [и др.] // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 3 (31). С. 90–95.
- Опыт тушения торфяных пожаров подтоплением / И. М. Секерин, С. В. Залесов, А. М. Ерицов, А. А. Кректунов // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 119–127. DOI: 10.15372/SJFS 20230612
- Оценка горимости лесов Российской Федерации / Л. Е. Кузнецов, А. М. Ерицов, И. М. Секерин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 3 (90). С. 93–101. DOI: 10.51318/FRET.2024.31.73.008
- Уточненная шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / Г. А. Годовалов, А. М. Ерицов, С. В. Залесов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 4. URL: <https://research-journal.org/media/articles/11904.pdf> (дата обращения: 10.07.2025). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ/2024.142.102>
- Шкала классов пожарной опасности по условиям погоды для Свердловской области / И. М. Секерин, Г. А. Годовалов, А. М. Ерицов [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1 (81). С. 96–101. DOI: 10.48012/1817-5457_2025_1_96-101
- Эффективный способ тушения торфяных пожаров в зимний период / И. М. Секерин, А. М. Ерицов, А. А. Кректунов, С. В. Залесов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 245. С. 23–35. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.23-35

References

- A new way to create protective and supporting fire protection strips / S. V. Zalesov, G. A. Godovalov, A. A. Krek tunov [et al.] // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2014. № 3 (31). P. 90–95. (In Russ.)
- An effective way to extinguish peat fires in winter / I. M. Sekerin, A. M. Yeritsov, A. A. Krekunov, S. V. Zalesov // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2023. Issue 245. P. 23–35. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.23-35 (In Russ.)
- An updated scale of fire hazard classes according to fire conditions for the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra / G. A. Godovalov, A. M. Yeritsov, S. V. Zalesov [et al.] // International Scientific Research Journal. 2024. № 4. URL: <https://research-journal.org/media/articles/11904.pdf> (accessed 10.07.2025). DOI: 10.23670/IRJ/2024.142.102 (In Russ.)
- Arkhipov E. V., Zalesov S. V. Dynamics of forest fires in the Republic of Kazakhstan and their environmental consequences // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. № 4 (158). P. 10–15. (In Russ.)
- Assessment of the burning capacity of the forests of the Russian Federation / L. E. Kuznetsov, A. M. Yeritsov, I. M. Sekerin [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 3 (90). P. 93–101. DOI: 10.51318/ FRET.2024.31.73.008 (In Russ.)
- Krekunov A. A., Zalesov S. V. Protection of settlements from natural fires. Yekaterinburg : Ural. and GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2017. 162 p.
- Kuksin G. V., Sekerin I. M., Zalesov S. V. Detection of wintering peat fires by remote methods // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. 2024. Vol. 28, № 4. P. 53–65. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-53-65 (In Russ.)
- Marchenko V. P., Zalesov S. V. The burnability of ribbon forests in the Irtysh region and ways to minimize it using the example of the State Scientific Research Institute “Yertys Ormany” // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2013. № 10 (108). P. 55–59. (In Russ.)
- Scale of fire hazard classes according to weather conditions for the Sverdlovsk region / I. M. Sekerin, G. A. Godovalov, A. M. Yeritsov [et al.] // Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2025. № 1 (81). P. 96–101. DOI: 10.48012/1817-5457_2025_1_96-101 (In Russ.)
- The experience of extinguishing peat fires by flooding / I. M. Sekerin, S. V. Zalesov, A. M. Yeritsov, A. A. Krek tunov // Siberian Forest Journal. 2023. № 6. P. 119–127. DOI: 10.15372/SJFS 20230612 (In Russ.)

- Yeritsov A. M., Bezdenezhnykh I. V., Zalesov S. V.* The need to coordinate efforts to improve forest protection from fires // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2025. Issue 253. P. 22–33. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253. 22-33 (In Russ.)
- Yeritsov A. M., Sekerin I. M., Zalesov S. V.* Improvement of unmanned aerial vehicles for detecting and monitoring forest fires // International Scientific Research Journal. 2024. № 5. DOI: 10.60797/IRJ. 2024.143.15 (In Russ.)
- Zalesov S. V.* Forest pyrology : textbook. 4th edition, revised and expanded. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2021. 396 p.
- Zalesov S. V., Godovalov G. A., Krektunov A. A.* NATISK fire extinguishing system for stopping and localizing forest fires // Modern problems of science and education. 2014. № 3. URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2014/3/17.pdf> (accessed 10.07.2025).
- Zalesov S. V., Godovalov G. A., Platonov E. P.* An updated scale of distribution of forest fund plots by classes of natural fire danger // Agricultural Bulletin of the Urals. 2013. № 10 (116). P. 45–49. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Kuksin G. V., Sekerin I. M.* Equipment and tools for detecting and examining peat fires. Yekaterinburg : UGLTU, 2024. 94 p.
- Zalesov S. V., Magasumova A. G., Novoselova N. N.* Organization of fire protection of plantings formed on former agricultural lands // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2010. № 4. P. 60–63. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Mironov M. P.* Detection and extinguishing of forest fires. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2004. 138 p.
- Zalesov S. V., Zalesova E. S.* Forest pyrology. Terms, concepts, definitions. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2014. 54 p.

Информация об авторах

И. М. Секерин – кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

I. M. Sekerin – Candidate of Agricultural Sciences.

Статья поступила в редакцию 30.07.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 30.07.2025; accepted for publication 15.09.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 86–94.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 86–94.

Научная статья
УДК 630.627.3:630.4(470.54)
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.009

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА КАК ОСНОВА СОВРЕМЕННОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

С. В. Залесов¹, И. В. Предеина², Н. М. Итешина³,
Н. М. Чынгожоев⁴, Н. П. Бунькова⁵

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

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

Аннотация. На основании материалов собственных исследований авторов и анализа литературных и ведомственных материалов предпринята попытка разработки предложений по ведению лесного хозяйства и осуществлению лесопользования. В статье уделено внимание необходимости реального перехода к ведению лесного хозяйства на зонально(подзонально)-типологической основе, установлению целевых пород для лесовыращивания с учетом потребностей конкурентных лесопользователей и перехода от количественной спелости к технической, устанавливаемой по максимальному выходу наиболее востребованного сортимента. Установлено, что только снижение возраста спелости на арендованных участках целлюлозно-бумажных комбинатов в Пермском крае позволяет повысить продуктивность лесов в 1,5–2,0 раза при минимизации таких негативных последствий, как лесные пожары, ветровалы, поражения короедом-типоврафом. Особо отмечается, что снижение возраста спелости до 60 лет не потребует дополнительных финансовых затрат при увеличении объемов заготовки еловых балансов. Улучшение санитарного состояния насаждений и снижение потенциальной пожарной опасности может быть обеспечено строительством предприятий-утилизаторов, которые будут перерабатывать в щепу для плиточного производства или топлива не востребованную в настоящее время древесину от рубок ухода, санитарных и прочих рубок, а также от ликвидации захламленности отходами лесопиления. Предпринята попытка анализа недостатков в планировании и проведении лесохозяйственных мероприятий и разработка предложений по совершенствованию лесопользования с целью повышения продуктивности лесов и обеспечения постоянства их использования.

Ключевые слова: рациональное лесопользование, лесовосстановление, ведение лесного хозяйства, выборочные рубки, рубки ухода

Для цитирования: Интенсификация ведения лесного хозяйства как основа современного лесопользования / С. В. Залесов, И. В. Предеина, Н. М. Итешина [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 86–94.

Original article

INTENSIFICATION OF FOREST MANAGEMENT AS A BASIS FOR MODERN FOREST EXPLOITATION

**Sergey V. Zalesov¹, Irina V. Predeina², Natalia M. Iteshina³,
Nurstan M. Chingozhoev⁴, Natalia P. Bunkova⁵**

¹⁻⁵ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

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

Abstract. Based on the authors' own research materials and analysis of literary and departmental materials, an attempt was made to develop proposals for forest management and forest exploitation. The article pays attention to the need for a real transition to forest management on a zonal (subzonal) typological basis, establishing target species for forest growing taking into account the needs of competitive forest users and the transition from quantitative maturity to technical maturity, established by the maximum yield of the most popular assortment. It was found that only a decrease in the age of maturity on leased plots of pulp and paper mills in the Perm region makes it possible to increase forest productivity by 1,5–2,0 times while minimizing such negative consequences as forest fires, windfalls and bark beetle damage. It is especially noted that reducing the age of maturity to 60 years will not require additional financial costs with an increase in the volume of spruce pulpwood harvesting. Improvement of the sanitary condition of plantations and reduction of potential fire hazard can be ensured by construction of recycling plants that will process currently unclaimed wood from cleaning cutting, sanitary and other cutting, as well as from elimination of clutter with sawmill waste, into chips for tile production or fuel. An attempt was made to analyze shortcomings in the planning and implementation of forestry measures and develop proposals for improving forest exploitation in order to increase forest productivity and ensure the sustainability of their use.

Keywords: rational forest management, reforestation, forest management, selective cutting, cleaning cutting

For citation: Intensification of forest management as a basis for modern forest exploitation / S. V. Zalesov, I. V. Predeina, N. M. Iteshina [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 86–94.

Введение

Наблюдающееся изменение климата в сторону аридизации, т. е. сокращения количества осадков при повышении температуры воздуха и увеличения частоты таких негативных явлений как штормовые ветра, вызывает необходимость пересмотра целого ряда положений по ведению лесного хозяйства. В частности, назрела острая необходимость сокращения площади сплошнолесосечных рубок, существенно меняющих экологическую обстановку. Известно (Залесов, 2020), что широкомасштабное применение сплошнолесосечных рубок приводит в таежной зоне к забо-

лачиванию вырубок, а в лесостепной – к смене коренных древостоев на кустарниковые заросли или травяные фитоценозы. При этом даже в благоприятных лесорастительных условиях наблюдается смена пород и усыхание насаждений на границах вырубок. Указанное объясняется тем, что при ширине лесосек 300–500 м семена хвойных пород просто не в состоянии обеспечить распространение по всей территории вырубок. В то же время усиление ветра на открытом пространстве вырубки приводит к ветровалу, бурелому или обрыву тонких корней у произрастающих на границе с вырубкой деревьев, что приводит к их ослаблению,

заселению вторичными вредителями и в конечном счете к усыханию.

Ориентация на увеличение объемов заготовки древесины в менее освоенных районах не оправдана в связи с тем, что требует значительных финансовых затрат на создание инфраструктуры заготовки и переработки древесины, а также необходимости переселения населения для выполнения указанных работ. Кроме того, абсолютное большинство слабо освоенных районов таежной зоны характеризуется жесткими лесорастительными условиями, что объясняет низкую производительность произрастающих насаждений.

Указанное свидетельствует о необходимости перехода от экстенсивной на интенсивную форму хозяйства, поскольку только интенсификация лесопользования позволит поддерживать его постоянство и стабильно обеспечивать страну лесной продукцией (Интенсификация лесопользования..., 2022).

Методика и объекты исследования

При проведении исследований проанализировано прошлое и современное лесное хозяйство, а также последствия применения различных систем рубок в Уральском экономическом районе. В процессе исследований, помимо анализа научных и ведомственных материалов, использовались результаты собственных исследований авторов, полученные в процессе закладки пробных площадей. При закладке последних использовались апробированные методические рекомендации (Основы фитомониторинга..., 2020; Данчева и др., 2023).

Результаты и их обсуждение

Переход на интенсивную форму ведения лесного хозяйства, как было отмечено ранее, заключается прежде всего в изменении нормативно-правовых документов по вопросам ведения лесного хозяйства и лесопользования. В частности, в Правилах заготовки древесины (Об утверждении..., 2020а) следует резко ограничить объемы сплошнолесосечных рубок и их организационно-технические параметры. Так, ширина лесосек

сплошнолесосечных рубок не должна превышать 200 м, что резко увеличит по сравнению с современным состоянием возможности естественного лесовосстановления. Сплошнолесосечные рубки при этом должны проектироваться только в одновозрастных насаждениях, теряющих устойчивость или технические качества древесины, а также в насаждениях, где даже незначительное изреживание древостоев может привести к ветровалу.

При назначении сплошнолесосечных рубок в насаждениях на неустойчивых почвах необходимо неукоснительно соблюдать требование сохранения семенных полос шириной не менее 30 м с расстоянием между ними или стеной леса не более 100 м. Данное требование предусмотрено действующими правилами заготовки древесины (Об утверждении..., 2020а), однако повсеместно не выполняется.

Сплошнолесосечные рубки должны быть заменены выборочными, арсенал которых включает два вида классических выборочных рубок (добровольно-выборочные, группово-выборочные) и пять видов постепенных рубок (равномерно-постепенная, группово-постепенная, длительно-постепенная, чересполосная постепенная и комбинированная выборочная). Полагаем, что арсенал выборочных рубок можно существенно расширить за счет широко применяемых за рубежом и прошедших опытно-производственную проверку на территории Российской Федерации. В частности, к таковым можно отнести каймовые рубки (Вагнер, 1931; Луганский, Залесов, 1997).

Особо следует отметить, что при наличии значительного количества научных работ, свидетельствующих о высокой эффективности различных видов выборочных рубок (Казанцев и др., 2006; Оплетаев, Залесов, 2014; Рекомендации по проведению..., 2017; Восстановление еловых лесов..., 2020; Объемы заготовки..., 2024; Чересполосная постепенная рубка..., 2024), до настоящего времени в практике лесопользования имеют место рубки, приводящие к негативному конечному результату. Так, в частности, действующими Правилами заготовки древесины (Об утверждении правил..., 2020) рекомендуются без ограничений

добровольно-выборные рубки. Однако такие рубки в одновозрастных светлохвойных насаждениях не приводят к положительному результату, поскольку полнота древостоев после проведения очередного приема рубки не может снижаться ниже 0,5, а светолюбивый подрост сосны обыкновенной и лиственницы не выдерживает при указанной относительной полноте затенения материнским пологом и отмирает в возрасте 10–15 лет, не формируя второго яруса и не входя в состав древостоя. Другими словами, проведение добровольно-выборочных рубок в светлохвойных одновозрастных насаждениях приводит в конечном счете к формированию редин, задернению и повышению пожарной опасности.

В нормативно-правовых документах по заготовке древесины должны быть детально прописаны требования к проведению очистки мест рубок. В настоящее время в указанном нормативном документе приводится лишь перечень способов очистки без указания, в каких типах леса и при каких таксационных показателях насаждений и видах рубок конкретные способы применяются (Об утверждении видов..., 2022). Указанное приводит к конфликтным ситуациям между лесопользователями и контролирующими органами. Так, в частности, при проведении сплошных и выборочных санитарных рубок лесничества требуют сжигания порубочных остатков. Однако большинство данных рубок проводится в горельниках и на гарях, где нет опасности распространения инфекционных заболеваний.

Нормативные документы требуют проверки их соответствия друг другу. Так, действующими Правилами заготовки древесины чересполосные постепенные рубки разрешены в насаждениях всех формаций (Об утверждении правил заготовки..., 2020). Однако в Правилах санитарной безопасности в лесах (Об утверждении правил санитарной безопасности..., 2020) данные рубки запрещены. Несоответствие касается и рубок ухода. Так, указанными санитарными правилами в еловых насаждениях всех типов леса запрещаются такие рубки ухода, как прореживание и проходные рубки. Однако известно, что данные виды рубок являются основным поставщиком хвойных балансов

во всем мире и без их проведения практически невозможно вырастить пиловочник к установленному нормативными документами возрасту спелости. В то же время Правила санитарной безопасности (Об утверждении правил санитарной безопасности..., 2020) в лесах рекомендуют проведение в чистых еловых молодняках осветлений, цель которых – уход за самосевом. Поскольку насаждения чистые, данный вид рубок ухода (Об утверждении правил ухода..., 2020) вообще не имеет смысла. При этом Правилами рубок ухода в еловых насаждениях предусмотрены все виды рубок ухода.

Имеют место противоречия и в Правилах лесовосстановления (Об утверждении..., 2021). Во главу угла здесь поставлена не конечная цель – ускорение перевода вырубок в покрытые лесной растительностью земли, а вид посадочного материала. Правилами предусмотрено увеличение доли искусственных насаждений, создаваемых сеянцами (саженцами) с закрытой корневой системой. При этом количество посадочных мест сокращено до 2,0 тыс. шт./га. В таежной зоне это в определенной степени оправдано, поскольку, помимо лесных культур, на лесокультурных площадях обычно имеет место подрост предварительной и сопутствующей генерации. В то же время опыт использования сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) в лесостепной зоне показал, что приживаемость лесных культур не превосходит таковую при использовании сеянцев с открытой корневой системой (ОКС) (Гоф и др., 2019; Опыт создания..., 2019; Воспроизводство..., 2023), а сокращение густоты посадки способствует формированию очагов подкорного клопа и редин, чрезвычайно опасных в пожарном отношении.

Интенсификация лесопользования требует пересмотра установления возраста спелости. На сегодняшний день он устанавливается с учетом преобладающей древесной породы и класса бонитета. В результате лесопользователь, основным сырьем для производства которого являются хвойные балансы, выращивает пиловочник. Установление возраста спелости по технической спелости основного востребованного сортимента позволит снизить возраст рубки как минимум на один класс

возраста и, как следствие этого, в 1,5 раза увеличит количество получаемой продукции с единицы площади за одинаковый период времени (Снижение..., 2025).

Выполненные нами исследования на территории Пермского края показали, что снижение возраста спелости, помимо повышения продуктивности лесов, повысит их устойчивость против ветра, снизит пожарную опасность и минимизирует развитие очагов вторичных вредителей, в частности, короеда типографа (Семенова, Залесов, 2024).

Интенсификация лесного хозяйства может и должна оказывать влияние на экологическую обстановку и снижать негативные последствия изменения климата. Общеизвестно, что в процессе фотосинтеза растения депонируют в своих тканях углерод из атмосферного воздуха и выделяют кислород. При разложении органического вещества наблюдается обратный процесс. Следовательно, в целях снижения в атмосферном воздухе доли парниковых газов необходимо своевременно проводить выборочные и сплошные санитарные рубки, уборку захламленности, рубки ухода и увеличивать долю утилизации лесосечных отходов. Указанное вызывает необходимость создания предприятий-утилизаторов, перерабатывающих не востребованное в настоящее время древесное сырье (отходы переработки древесины, лесосечные отходы, валежную древесину и т. д.) на востребованную продукцию (плиты, в частности), где в древесине углерод будет законсервирован на неопределенную длительный срок. Указанные предприятия целесообразно создавать с таким расчетом, чтобы они обслуживали территорию в радиусе не более 200 км. Увеличение расстояния вывозки сырья резко ухудшает экономические показатели предприятия.

Особо следует отметить, что назрела необходимость изменения в ряде случаев основных (главных) древесных пород. Так, в частности, в лесотундре и подзоне северной тайги основными древесными породами, на которые ведется хозяйство, следует считать бересы повислую (*Betula pendula* Roth.) и пушистую (*B. pubescens* Ehrh.). Указанные виды не уступают хвойным

породам по экологическому воздействию. При этом они характеризуются быстрым ростом и плотной древесиной, т. е. значительно превосходят хвойные виды по объему депонируемого в процессе фотосинтеза углерода из атмосферного воздуха.

Замена хвойных пород на мягколиственные целесообразна также на арендованных участках крупных целлюлозно-бумажных комбинатов.

Выводы

Велением времени является изменение сложившихся подходов к ведению лесного хозяйства.

Реализация принципа неистощительного рационального лесопользования требует увеличения доли выборочных рубок с уменьшением сплошнолесосечных и сокращением отдельных организационно-технических параметров последних, в частности ширины и площади сплошнолесосечных рубок.

Необходимо пересмотреть установленные возрасты рубок спелых и перестойных насаждений для предприятий, заготовляющих 500 тыс. м³ древесины в год и более, перейдя от количественной к технической спелости по наиболее востребованному сортименту.

Следует разработать программы рубок ухода и обеспечить их выполнение в полном объеме.

В целях снижения пожарной опасности и рационального использования всей выращиваемой древесины необходимо создать сеть предприятий – утилизаторов низкотоварной древесины с радиусом обслуживания каждым предприятием не более 200 км.

Необходимо сократить показатели фактической горимости лесов за счет эффективного противопожарного обнаружения и ликвидации возникающих лесных пожаров.

Следует минимизировать не покрытые лесной растительностью земли путем совершенствования способов лесовосстановления и увеличения его объемов.

Особое внимание следует уделить подготовке кадров, включая переподготовку для лесного комплекса с учетом современных достижений лесной науки и практики.

Список источников

- Вагнер Х. Каемчато-выборочные рубки. М. ; Л. : Гос. изд-во с.-х. и колх.-кооп. лит-ры, 1931. 162 с.
- Воспроизводство и омоложение ленточных боров Алтайского края / С. В. Залесов, А. Е. Осипенко, А. Ю. Толстиков [и др.]. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 360 с.
- Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения / Н. Н. Теринов, Е. М. Андреева, С. В. Залесов [и др.] // Лесной журнал. 2020. Т. 3. С. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23
- Гоф А. А., Жигулин Е. В., Залесов С. В. Причины низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая // Успехи современного естествознания. 2019. № 12. Ч. 1. С. 913. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37261> (дата обращения: 02.06.2025).
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг : учеб. пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 146 с.
- Залесов С. В. Лесоводство. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
- Интенсификация лесопользования путем совершенствования нормативно-правовых документов / С. В. Залесов, П. Н. Сураев, Н. П. Бунькова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 10 (124). С. 1–4. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23
- Казанцев С. Г., Залесов С. В., Залесов А. С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. 156 с.
- Луганский Н. А., Залесов С. В. Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. акад., 1997. 101 с.
- 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 от 17 января 2022 г. № 23. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-17012022-n-23-ob-utverzhdenii/?ysclid=mclw258exw507696724> (дата обращения: 02.07.2025).
- Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации № 993 от 01.12.2020а (с изменениями на 17 октября 2022 года) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573123735?ysclid=mcltu9c5mm769229041> (дата обращения: 02.07.2025).
- Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления от 29 декабря 2021 года № 1024 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/72811110?ysclid=mclwabarhq818489939> (дата обращения: 02.07.2025).
- Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах : Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 № 2047 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. URL: <https://base.garant.ru/75037636/> (дата обращения: 02.07.2025).
- Об утверждении Правил ухода за лесами : Постановление Правительства РФ от 30 июля 2020 года № 534 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565780469?ysclid=mclwmo5vuo719516828> (дата обращения: 02.07.2025).
- Объемы заготовки древесины при сплошнолесосечных и выборочных рубках спелых и перестойных насаждений / Н. М. Итешина, И. В. Безденежных, С. В. Залесов, А. И. Чермных // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2 (78). С. 59–66. DOI: 10.48012/1817/5457-2024-2_59-66

Оппетаев А. С., Залесов С. В. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале. Екатеринбург : Урал. гос. лестехн. ун-т, 2014. 178 с.

Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гарях Алтайского края / А. А. Гоф, Е. В. Жигулин, С. В. Залесов, А. С. Оппетаев // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12 (90). Ч. 2. С. 125–130.

Основы фитомониторинга : учеб. пособие // Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова [и др.]. Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. 90 с.

Рекомендации по проведению выборочных рубок в производных березняках Пермского края // С. В. Залесов, А. С. Попов, Л. А. Белов [и др.]. Екатеринбург : УГЛТУ, 2017. 41 с.

Семенова М. Е., Залесов С. В. Совершенствование ведения лесного хозяйства в связи с меняющимся климатом // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 2024. С. 258–261.

Снижение возраста спелости как способ повышения продуктивности лесов и минимизации рисков при выращивании еловых насаждений // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 2. С. 143–150. DOI: 10.53374/1993-0135-2025-2-143-150

Чересполосная постепенная рубка как способ переформирования производных мягколиственных насаждений в коренные хвойные / И. В. Предеина, К. А. Башегуров, Л. А. Белов [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2024. № 6. С. 59–67. DOI: 10.15372/SJFS20240608

References

Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S. Forest environmental monitoring : textbook. Yekaterinburg : USFEU, 2023. 146 p.

Fundamentals of phytomonitoring: textbook // N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, E. S. Zalesova [et al.]. Yekaterinburg : USFEU, 2020. 90 p.

Goff A. A., Zhigulin E. V., Zalesov S. V. The reasons for the low survival ability of seedlings of Scots pine with a closed root system in Altai ribbon forests // Successes of modern Natural Science, 2019. № 12. Part 1. P. 913. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37261> (accessed 02.06.2025).

Intensification of forest management by improving regulatory and legal documents / S. V. Zalesov, P. N. Suraev, N. P. Bunkova [et al.] // International Scientific Research Journal. 2022. № 10 (124). P. 1–4. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23 (In Russ.)

Kazantsev S. G., Zalesov S. V., Zalesov A. S. Optimization of forest management in secondary birch forests of the Middle Urals. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2006. 156 p.

Lugansky N. A., Zalesov S. V. Forest science and forestry. Terms, concepts, definitions. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering Academy, 1997. 101 p.

On approval of the types of logging operations, the order and sequence of their execution, the form of the technological map of logging operations, the form of the act of final inspection of the cutting area and the order of final inspection of the logging area dated January 17, 2022 № 23. URL : <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-17012022-n-23-ob-utverzhdenii/?ysclid=mclw258exw507696724> (accessed 02.07.2025).

On approval of the Rules of wood production and the specifics of wood production in forestry areas specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation № 993 dated 01.12.2020a (as amended on October 17, 2022) // Electronic Fund of Legal and normative and technical documents : [website]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573123735?ysclid=mcltu9c5mm769229041> (accessed 02.07.2025).

On approval of the Rules of reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic

form of the reforestation project dated December 29, 2021 № 1024 // Electronic fund of legal and regulatory-technical documents : [website]. URL : <https://docs.cntd.ru/document/72811110?ysclid=mclwabarhq818489939> (accessed 02.07.2025).

On approval of the Rules of sanitary safety in forests : Decree of the Government of the Russian Federation dated December 9, 2020b № 2047 // Electronic fund of legal and normative technical documents : [website]. URL : <https://base.garant.ru/75037636/> (accessed 02.07.2025).

On the approval of the Rules of forest care: Resolution of the Government of the Russian Federation № 534 dated July 30, 2020 // Electronic fund of legal and normative and technical documents: [website]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565780469?ysclid=mclwmo5vuo719516828> (accessed 02.07.2025).

Opletaev A. S., Zalesov S.V. Transformation of derivative soft-wooded plantations into larch forests in the Southern Urals. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2014. 178 p.

Recommendations for conducting selective cutting in secondary birch forests of the Perm region / *S. V. Zalesov, A. S. Popov, L. A. Belov* [et al.]. Yekaterinburg : USFEU, 2017. 41 p.

Reducing the age of maturity as a way to increase forest productivity and minimize risks when growing spruce plantations // Conifers of the boreal zone. 2025. Vol. XLIII, № 2. P. 143–150. DOI: 10.53374/1993-0135-2025-2-143-150 (In Russ.)

Reproduction and rejuvenation of ribbon pine forests of the Altai Territory / *S. V. Zalesov, A. E. Osipenko, A. Y. Tolstikov* [et al.]. Yekaterinburg : USFEU, 2023. 360 p.

Restoration of spruce forests: theory, domestic experience and methods of solution / *N. N. Terinov, E. M. Andreeva, S. V. Zalesov* [et al.] // Forestry journal. 2020. Vol. 3. P. 9–23. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-9-23

Semenova M. E., Zalesov S. V. Improvement of forestry management in connection with the changing climate // Intensification of the use and reproduction of forests in Siberia and the Far East. Khabarovsk : Far Eastern research institute of forestry, 2024. P. 258–261. (In Russ.)

Squally shelterwood cutting as a way to transform soft-wooded plantations derivatives into indigenous conifers / *I. V. Predeina, K. A. Bashegurov, L. A. Belov* [et al.] // Siberian Forest Journal. 2024. № 6. P. 59–67. DOI: 10.15372/SJFS20240608

The experience of creating forest crops using seedlings with a closed root system in the burning areas of the Altai Territory / *A. A. Goff, E. V. Zhigulin, S. V. Zalesov, A. S. Opletaev* // International Scientific Research Journal. 2019. № 12 (90). Part 2. P. 125–130. (In Russ.)

Volumes of wood production during clear cutting and selective cutting of mature and overgrown plantations / *N. M. Iteshina, I. V. Bezdezhnykh, S. V. Zalesov, A. I. Chermnykh* // Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2024. №2 (78). P. 59–66. DOI: 10.48012/1817/5457-2024-2_59-66 (In Russ.)

Wagner H. Bordered-selective cutting. Moscow : State publishing house of agricultural and collective-farm cooperative literature, 1931. 162 p.

Zalesov S. V. Forestry. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 295 p.

Информация об авторах

Сергей Вениаминович Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
zalesovsv@m.usfeu.ru; http://orcid/0000-0003-3779-410X

Ирина Владимировна Предеина – кандидат сельскохозяйственных наук,
predeina@yandex.ru; http://orcid/0009-0003-6806-8968

Наталья Михайловна Итешина – кандидат сельскохозяйственных наук,
n.iteshina@yandex.ru; http://orcid/0000-0002-2003-2005

Нурстан Мадылканович Чынгожоев – кандидат биологических наук,
nurstan@mail.ru; http://orcid/0009-0004-5681-9768

*Наталья Павловна Бунькова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.
bunkovanp@m.usfeu.ru; <http://orcid/0000-0002-7228-4693>*

Information about the authors

*Sergey V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
zalesovsv@m.usfeu.ru; <http://orcid/0000-0003-3779-410X>*

*Irina V. Predeina – Candidate of Agricultural Sciences,
predeina@yandex.ru; <http://orcid/0009-0003-6806-8968>*

*Natalia M. Iteshina – Candidate of Agricultural Sciences,
n.iteshina@yandex.ru; <http://orcid/0000-0002-2003-2005>*

*Nurstan M. Chingozhaev – Candidate of Biological Sciences,
nurstan@mail.ru; <http://orcid/0009-0004-5681-9768>*

*Natalia P. Bunkova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.
bunkovanp@m.usfeu.ru; <http://orcid/0000-0002-7228-4693>*

Статья поступила в редакцию 30.06.2025; принята к публикации 31.07.2025.

The article was submitted 30.06.2025; accepted for publication 31.07.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 95–116.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 95–116.

Научная статья
УДК: 630*232.32
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.010

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛИЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Сергей Николаевич Сорокин¹, Александр Анатольевич Степченко²,
Анастасия Валерьевна Клименок³

^{1–3} Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства,
Санкт-Петербург, Россия

¹ ssn1007@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-6456-3218>

² Alexstepchenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-1084-9045>

³ Klimenok_av@spb-niilh.ru; <https://orcid.org/0009-0003-6999-1973>

Аннотация. В статье рассматриваются накопившиеся проблемы в деле выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) в тепличных комплексах на всех этапах от проектирования, закупки технологического оборудования и строительства до агротехники выращивания и отгрузки готового материала заказчику. Они отражаются как на стоимости готовой продукции, так и в ряде случаев на ее эффективности при создании лесных культур в разных условиях произрастания. Основа агротехники выращивания сеянцев с ЗКС заложена и в значительной мере отработана еще в середине прошлого столетия. За прошедшие десятилетия появляются новые подходы на основании многочисленных проведенных научно-исследовательских работ: в области подбора новых почвенных субстратов, методов подготовки семян к посеву, новых видов удобрений (в том числе природного происхождения), полезности внесения в субстрат микоризы грибов-симбиотов, применения бактериальных препаратов и т. д. Однако работы в тепличных комплексах зачастую выполняются без применения данных инноваций. Их внедрение может значительно повысить не только экономическую эффективность процесса выращивания сеянцев в тепличных комплексах, но также создать лучшие стартовые возможности их приживаемости и дальнейшего роста лесных культур, особенно в стрессовых условиях произрастания. Для повышения эффективности работы по выращиванию сеянцев с ЗКС также требуются отдельные методические рекомендации по агротехнике выращивания посадочного материала для конкретных питомников, с учетом всех входящих факторов: от климатических условий до подбора выращиваемых пород с необходимым размером почвенного кома (ячейки), наполненности почвенного субстрата дополнительными ингредиентами и проч. Важно отметить проблему нехватки профильных специалистов, недостаточную профессиональную квалификацию выпускников профильных вузов применительно к работе в лесных тепличных комплексах.

Ключевые слова: тепличный комплекс, посадочный материал с закрытой корневой системой, биопрепараты, современные удобрения, пестициды, семена

Благодарность: авторы статьи выражают признательность профессору А. В. Жигунову за неоценимую помощь в вопросах анализа современного состояния, наличия проблемных вопросов и путей их решения при выращивании сеянцев с ЗКС в тепличных комплексах.

Для цитирования: Сорокин С. Н., Степченко А. А., Клименок А. В. О некоторых проблемах выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в условиях современных тепличных комплексов // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 95–116.

Original article

ON SOME PROBLEMS OF CULTIVATION OF PLANTING MATERIAL WITH A CLOSED ROOT SYSTEM IN CONDITIONS OF MODERN GREENHOUSE COMPLEXES

Sergey N. Sorokin¹, Aleksander A. Stepchenko², Anastasia V. Klimenok³

^{1–3} Saint Petersburg Forestry Research Institute, Saint Petersburg, Russia

¹ ssn1007@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-6456-3218>

² Alexstepchenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-1084-9045>

³ Klimenok_av@spb-niilh.ru; <https://orcid.org/0009-0003-6999-1973>

Abstract. The article examines the accumulated problems in the cultivation of planting material with a closed root system in greenhouse complexes at all stages from design, purchase of technological equipment and construction to agricultural techniques for growing and shipping the finished material to the customer. They affect both the cost of finished products and, in some cases, their effectiveness in creating forest crops under different growing conditions. The basis of agricultural technology for growing seedlings with SCC was laid and largely worked out in the middle of the last century. Over the past decades, new approaches have emerged based on numerous research projects carried out: in the field of selecting new soil substrates, methods of preparing seeds for sowing, new types of fertilizers (including those of natural origin), the usefulness of introducing symbiotic fungi into the substrate of mycorrhiza, the use of bacterial preparations, etc. However, work in greenhouse complexes is often performed without the use of these innovations. Their implementation can significantly increase not only the economic efficiency of the process of growing seedlings in greenhouse complexes, but also create better starting opportunities for their survival and further growth of forest crops, especially in stressful growing conditions. To increase the efficiency of work on growing seedlings with ZKS, separate methodological recommendations on the agrotechnics of growing planting material for specific nurseries are also required, taking into account all incoming factors: from climatic conditions to the selection of cultivated breeds with the required size of the soil lump (cell), the fullness of the soil substrate with additional ingredients, etc. It is important to note the problem of a shortage of specialized specialists, insufficient professional qualifications of graduates of specialized universities in relation to work in forest greenhouse complexes.

Keywords: greenhouse complex, planting material with a closed root system, biopreparations, modern fertilizers, pesticides, seeds

Acknowledgment: the authors express their gratitude to Professor A. V. Zhigunov for his invaluable assistance in assessing the current state, identifying existing issues, and suggesting solutions related to the cultivation of seedlings with a closed root system in greenhouse complexes.

For citation: Sorokin S. N., Stepchenko A. A., Klimenok A. V. On some problems of cultivation of planting material with a closed root system in conditions of modern greenhouse complexes // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 95–116.

Введение

Национальным проектом «Экология», «Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», иными распоряжениями Правительства РФ, МПР и его подразделением РЛХ для лесного комплекса России продекларирована амбициозная задача по лесовосстановлению и лесоразведению, сохранению лесов на основе их воспроизводства на всех участках вырубленных и погибших насаждений, созданию высокопродуктивных устойчивых насаждений в различных лесорастительных условиях – лесов будущего. Если не углубляться в далекое прошлое, а оглянуться назад – «всего» в прошлое столетие, в работах советских (и зарубежных) лесоводов все более четко стала прослеживаться тенденция к ускоренному выращиванию посадочного материала в тепличных условиях: вначале – с открытой корневой системой (ПМОКС) на грядках под пленкой (Маттис, 1976, Мордась, 1983, Применение..., 1969) с последующим совершенствованием тепличных конструкций (Чурагулова, 2023), чуть позднее – с закрытой корневой системой (ПМЗКС) в более современных теплицах (Огиевский, Жигунов, 1982), а еще позднее – в тепличных хозяйствах. К 80-м годам была отработана основа агротехники выращивания ПМЗКС (Жигунов, 2000, Посадочный материал..., 1981), и в настоящее время стоит вопрос *повышения эффективности* его выращивания как будущей основы искусственного лесовосстановления и лесоразведения (Маркетинговое исследование..., 2023). Преимущества выращивания ПМЗКС по сравнению с ПМОКС, казалось бы, очевидны: защищенность от воздействия внешних факторов, экономия посевного материала, отсутствие пищевой конкуренции, оптимальные условия влажностного и температурного режима, подкормок, возможность регулирования светового дня, технологичность всего производственного процесса, т. е. наилучшие условия для ускоренного роста сеянцев, получения стандартного посадочного материала в кратчайшие сроки, а при создании лесных культур – лучшие стартовые возможности приживаемости и дальнейшего роста за счет наличия питательных и активных биологических веществ, микробиоты в торфяной ячейке,

увеличения сроков посадки и проч. (Российский и мировой опыт..., 2022, Игаунис, 1974, Высокая эффективность..., 2015, Посадочный материал..., 1981, Рост..., 2024). Вместе с тем с расширением географии строительства тепличных комплексов (ТК) все чаще стала поступать разноречивая информация об эффективности выращивания ПМЗКС в питомниках с точки зрения гарантированного получения в полном объеме качественного однородного посадочного материала, соответствующего требованиям ГОСТ Р 58004–2017, по сравнению с выращиванием ПМОКС, что ПМЗКС имеет малозначимые преимущества или уступает ПМОКС после высадки в натуру в части успешности приживаемости, несоответствия ожидаемым темпам роста саженцев (Результаты..., 2023, Развитие..., 2023).

Цель, методика и объекты исследования

Цель исследования: на основании практического опыта сотрудников института, накопленного в работе с питомниками в различных регионах России, разных форм собственности, литературных данных, разобраться, какие проблемы, трудности возникают при выращивании ПМЗКС в теплицах, какие имеют общий характер и как надо исправить ситуацию.

Материалом для публикации послужил накопленный в институте за многие годы опыт в вопросах выращивания ПМЗКС начиная с середины 60-х годов прошлого века (в то время ЛенНИИЛХ). В своей научно-практической работе сотрудники института принимали участие в обсуждениях проблематики выращивания ПМЗКС в разных ее составляющих с профильными специалистами действующих или создаваемых лесных питомников в тематических круглых столах на ежегодно проводимых лесных форумах в Санкт-Петербурге, Вологде, Новосибирске, Архангельске и др. В стенах СПбНИИЛХ периодически проводились тематические семинары с арендаторами лесных участков на обозначенную тему с обсуждением возникающих в их работе проблем (последний проходил в период 7–9 июля 2021 г. «Производство посадочного материала с закрытой корневой

системой»). При непосредственном участии сотрудников института создавался один из первых в России современных тепличных комплексов в Ленинградской области. За последние 10 лет в рамках исполнения государственных и частных заказов проводились работы по выпуску методических рекомендаций, давались рекомендации при создании тепличных комплексов в Псковской, Иркутской области, на Дальнем Востоке и проч. Опыт успешного выращивания ПМЗКС, как и возникающие проблемы, накапливался, дополнялся информацией из монографий, опубликованных в научных журналах статей.

Результаты и их обсуждение

1. Выбор площадки под закладку питомника, строительство тепличного комплекса с учетом климатических и прочих факторов

Наибольшие технические трудности в выращивании ПМЗКС испытывали арендаторы, кому достались вместе с лесной арендой лесные питомники с теплицами разных размеров и конструкций (которых, к слову, было великое множество в составе лесхозов и лесничеств по всей стране), чаще всего на деревянных каркасах, с отсутствующим или устаревшим навесным оборудованием, непросчитанными системами искусственного освещения (разнородность светильников от ламп накаливания, ДНаТ до ДРЛ и светодиодов, без учета спектра, в том числе отраженного света, светопропускной способности пленочного покрытия и, наоборот, отсутствие системы затенения и т. д.), вентиляции, земляными или гравийными полами и др. В итоге в силу разной освещенности кассет, недостаточного контроля температурно-влажностного режима в пределах одной теплицы было трудно получить дружные равномерные всходы с одинаковой энергией роста. При строительстве новых теплиц при отсутствии опыта, методических рекомендаций плохо или не учитывались во всей полноте климатические условия, подстилающие грунты, глубина залегания и состав грунтовых вод (Изменение..., 2023), наличие и видовой состав древесно-кустарниковой, почвопокровной растительности, произрастающей по периметру ТК, и т. д., что создавало дополнительные проблемы, в том

числе санитарного характера. Вышедший с большим опозданием ГОСТ Р 70133–2022 «Питомники лесные постоянные. Выбор участка. Организация территории» в силу своей слабой информативности, нацеленности на общие принципы практически ничего не дал для выращивания ПМЗКС. Строительство государственных ТК с неудобоваримой *системой финансирования* (в основе которой лежит 9-я глава Лесного кодекса) (Сорокин, 2023), когда Минприроды напрямую дает деньги только на закупку технологического оборудования, а регион (как правило, дотационный) пытается выкроить немного средств из своего бюджета на проектирование и само строительство ТК, что вкупе приводит к известным проблемам уже на начальном этапе работ по выращиванию ПМЗКС, вследствие чего шлейфом в несколько лет приходится дополнительно тратить деньги на устранение недостатков, что, естественным образом, скаживается не только на себестоимости продукции, но и на ее качестве. Проектирование и создание ТК – не самоцель, лишь промежуточное звено всего лесоводственного процесса в выращивании высококачественных лесных насаждений, скорейшего воссоздания биоценоза. При их проектировании нельзя не учитывать все условия (не считая уже вышеперечисленных): лесорастительные зоны, лесорастительные и лесосеменные районы с набором основных лесных древесных пород, преобладающие типы условий местопроизрастаний (в том числе механического состава грунтов, степени заваленности), особенно включая бывшие осушенные земли, где ведется массовая заготовка древесины, наличие и состав нарушенных земель во всем разнообразии (отвалы горных пород, бывшие урбоземы, брошенные сельхозугодья и т. д.), уровень механизации в регионе и в первую очередь у основных арендаторов леса (Сорокин, 2024). Это влияет на все составляющие будущего ТК, планирование количества ротаций и соотношения объемов выращивания ПМЗКС и ПМОКС в конкретном ТК: время отказа от выращивания ПМОКС еще не наступило (Дифференцированное применение..., 2023). К сожалению, в проектах создания ТК в основном вся нацеленность только на выращивание некоего объема 2–3 (реже больше)

древесных пород – без изысков. Тем не менее создание ТК под эгидой научно-исследовательских институтов лесного хозяйства послужили, безусловно, хорошим примером для частных компаний, озадачившихся выращиванием ПМЗКС, как минимум в отношении конструктива теплиц, набора технологического оборудования, основных приемов агротехники выращивания, но *все* вопросы, касающиеся успешности задуманного, не снялись и в первую очередь по двум следующим причинам.

2. Кадровое наполнение, система закупок

Главная проблема – в наличии профессионально грамотных специалистов в лесной отрасли после развода советской системы образования, недостаточной квалификации приходящих из вузов (и это не вина профессорско-преподавательского состава) и требуемых для работы в питомниках, которые чаще всего не могут самостоятельно оценить или сделать правильный выбор закупки того или иного технологического оборудования, требуемого состава и/или поставщика почвенного субстрата, размера и типа высевных кассет, подготовки семян к посеву, не говоря о внесении корректировок в агротехнику выращивания посадочного материала в зависимости от выращиваемых древесных пород и т. д. Другая проблема, более значимая для государственных ТК: в силу действующего Федерального закона от 05.04.2013 № 44-ФЗ (ред. от 30.11.2024) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» и системы финансирования, о которой упоминалось выше, создается неопределенность (качества) проведения проектных работ, в поставках различных необходимых составляющих (почвенных субстратов, удобрений, пестицидов и проч.); организация не может самостоятельно покупать тот или иной материал у проверенного поставщика, но вынуждена соглашаться на закупку у некоего победителя в конкурсе (на разных площадках).

3. Почвенные субстраты

«Площадное разыгрывание» сильнее всего сказывается при закупках важнейшего компонента при выращивании ПМЗКС – почвенного субстрата,

до настоящего времени – торфосмесей. Основными физическими функциями контейнерного субстрата является крепление корневой системы, что обеспечивает устойчивость растения, а также регулирование доступности воды, кислорода, элементов питания к корням: он должен обладать высокой влагоемкостью, малой насыпной плотностью, аэрируемостью, буферностью, высокой сорбционной способностью. Литературные данные, огромное количество проведенных экспериментов, многолетняя практика применения давно доказали, что лучшим субстратом для выращивания посадочного материала с ЗКС является верховой торф (фрезерной заготовки) (Брокс, 1977, Царева, 1976) со степенью разложения около 15 %, определенного фракционного состава (0–10 мм), можно в смеси с переходным торфом (до 30 %), но с добавлением мелиорантов и необходимым количеством основных питательных макро- и микроэлементов и электропроводностью водной вытяжки около 1,8 См/см, как и кислотностью pH_{kcl} 4,5–5,0 в зависимости от выращиваемой породы (хотя, например, ель европейская в бореальных условиях лучше растет при pH_{kcl} 3,2–3,5 и макроризация корней в кислых почвах происходит лучше, но для лиственницы Сукачева предпочтительнее pH_{kcl} 5,0–5,5 и т. д., и выбирать что-то среднее не всегда хорошо) (Жигунов, 2000, Оплетаев и др., 2023). Конечно, торфяной субстрат должен быть приготовлен из торфа, заготовленного на месторождении предприятием, имеющим лицензию на пользование недрами, в соответствии с Федеральным законом № 2395-1 от 21.02.1992 г. «О недрах» и должен соответствовать требованиям, указанным в техническом задании, в том числе в санитарном отношении, но не все поставщики, победившие в конкурсе, четко соблюдают рецептуру, проштампованные на упаковке. Итог: неполное заполнение ячеек субстратом, подвисание корешков в воздушных «карманах» и гибель сеянцев (при фракции торфа 20 мм и более), плохой рост сеянцев с появлением признаков хлороза (недостаток элементов питания), проявление ранних заболеваний у всходов или в лучшем случае – грибов-сaproфитов в субстрате (несоблюдение норм санитарной обработки в заводских помещениях) –

все это становится проблемой ТК, учитывая, что ни государственный, ни частный владелец не спешат вкладывать деньги в лабораторное оборудование для обеспечения проведения экспресс-анализа субстрата, не говоря о дефиците профильных специалистов на местах. Проблема стоит острее, если ТК находятся в удаленных сибирских или южных, развитых в сельскохозяйственном отношении, районах: новоявленные проблемы с логистикой поставок, ценовая конкуренция с производителями плодоовошной продукции, садоводами создают риски неполучения вовремя (или вообще) в необходимом объеме нужного почвенного субстрата и выполнения плана по ПМЗКС. Требуются альтернативные решения. За последние десятилетия выполнены многочисленные исследования, проведены лабораторные и натурные испытания, выпущено немало научных статей на тему применимости иных видов субстратов при выращивании сеянцев различных древесных пород, в том числе ПМЗКС: на основе вермикомпостирования сельскохозяйственных отходов и осадков коммунальных или смешанных видов сточных вод (ОСВ), отходов ЦБК с добавлением различных мелиорантов (Наквасина и др., 2024; Сорокин, 2024; Всхожесть..., 2014; Повышение..., 1990; Рост..., 2024), компостов на основе отходов лесозаготовки и деревообработки (в том числе с применением грибов макро- и микромицетов) и проч. Отмечалось, что при добавлении в субстрат порубочных остатков стоимость такого субстрата уменьшалась до 40 % в результате снижения затрат на торф и минеральные удобрения (Влияние..., 2021; Зайцева, 2010; Копытков, 2020; Патент № 2562526, 2015; Опыт разработки..., 2015; Чурагулова, 2023). Однако ни Минприроды, ни коммунальные службы не уделили данной проблеме достаточного внимания, чтобы стандартизировать состав субстратов по основным показателям, сформировать унифицированную технологию приготовления подобных субстратов и наполнения контейнеров с целью выращивания ПМЗКС: информация не обобщается, нет методических пособий по применению в ТК (Сорокин, 2023). В копилке недоработок субстрат – ячейка надо обозначить и другие незаполненные лакуны: (не)применение влагоудержива-

ющих ингредиентов – гидрогелей или природных мелиорантов (Максимов и др., 2023; Маштаков и др., 2022), а также грибного мицелия в торфяном коме, присутствие которых необходимо в первую очередь при (будущих) посадках ПМЗКС на нарушенных землях после сильных низовых или верховых пожаров, вышедших из разработки карьеров и проч., в аридных лесорастительных условиях лесостепи и степи и т. п. (Эффективность..., 2021). Роль и польза симбиотических связей гриб – высшее растение понятны и известны давно: проводились съезды микологов, выходили обзоры, десятки журнальных статей, издавались монографии, на основе экспериментальных данных доказывающие крайнюю полезность микоризации корневых систем (в частности) хвойных и лиственных пород как макро-, так и микромицетами (Брындина и др., 2022; Геронина, 2014; Рейнер, Нельсон-Джонс, 1949; Рост..., 2024; Шубин, 1973), но в широкой практике ТК они не применяются, методик нет.

4. Минеральные и органические удобрения

Похожая проблема с закупкой и применением необходимых минеральных и органических удобрений (Мосолов, 1979). В последнее время все чаще появляется информация о несоответствии состава основных минеральных макро- и микроэлементов заявленным у известных (и не только российских) производителей удобрений, при этом цены быстро растут, в том числе из-за дорожающего исходного сырья и энергоресурсов, а также трудности с доставкой. Если к этому добавить проблемы экологического свойства – добычу полезных ископаемых с пустошами нарушенных земель, загрязнением окружающей среды, в том числе почв, давно стало очевидным, что необходимо переходить к использованию органических составляющих различного генезиса. Существует множество комплексных органоминеральных удобрений: гуминовые препараты («Теллура-М», «ЭКОР», «Биофулен», «Гумавит», «Супер Гумисол», «Экобиосфера» и проч.), препараты на основе торфа, морских водорослей («Экофус», «Элис&Тор»), сапропеля; гранулированные и жидкие удобрения на основе ОСВ, отходов вермикомпостирования различного происхождения и т. д. (Бракш, 1971;

Дурова, Жигунов, 2018; Сырчина и др., 2016; Сорокин, 2023). При этом не забыты современные удобрения на основе хелатных комплексов («Турмакс», «Базакот», «Нанокремний» и др.). Сами исследования финансировались многочисленными фондами в рамках программ министерств образования или сельского хозяйства, реже – частными инвесторами, как результат – *информация* раздроблена и рассеяна по научным и популярным изданиям, как и потраченные на них финансовые средства (Сорокин, 2024). За четверть века Минприроды, к сожалению, очень мало сделало для обобщения результатов исследований и при необходимости проведения дополнительных испытаний. Не были созданы и методические рекомендации для выращивания определенных пород в конкретных ТК.

5. Качество посевных кассет, размер ячейки

Ситуация с выбором типа кассет для выращивания ПМЗКС, казалось бы, проста: практика показала, что они должны иметь надежные прочностные свойства, обеспечивающие определенный срок службы (до 10 лет), а размер ячеек должен соответствовать приказу МПР от 29.12.21 № 1024 «Об утверждении правил лесовосстановления...», иметь необходимые боковые и донные прорези. Сам приказ, к слову сказать, во многом декларативен, полон недочетов (Сорокин, 2024), один из которых – пункт 43, регламентирующий размер торфяного «стаканчика»: для ели – от 85 см³, для сосны от 50 см³ с высотой не менее 7,3 см. И все. Наиболее этим требованиям на сегодняшний день соответствуют кассеты российского производства: ООО «Октава плюс», компания «Агропласт», ООО «Ансат», но можно встретить в продаже похожие кассеты белорусского, а также итальянского производства. Тем не менее нередко в теплицах (частных) питомников можно обнаружить сеянцы, растущие в одноразовых тонкостенных пластиковых горшочках либо кассетах, приспособленных для выращивания рассады овощных культур: они недолговечны, выемка сеянца с торфяным комком затруднена без его повреждения, развитие корневой системы происходит плохо. Вышеупомянутый приказ внес опреде-

ленную сумятицу в работу ТК и принес изрядный вред делу лесовосстановления и лесоразведения. Дело не в том, что забыли причины применения в советской практике торфяного кома у ПМЗКС в 400 см³ (или большего размера, и почему он был такой и не меньше) (Бахаровский, Горобченко, 1992, Копытков, 2019, Корчагин и др., 2013, Чурагулова, 2023). Для питомников, работающих сегодня по принципу «вырастил – отгрузил – забыл», минимальный объем торфяного кома – благо, ибо экономит затраты на субстрат и все – «в рамках норматива», брать же на себя инициативу с экспериментированием размерами ячеек охотников мало. Для лесоводов (в чьей бы собственности ТК не был) – это проблема в первую очередь с приживаемостью посадок, особенно в аридных или почвенных условиях нарушенных земель: надземный побег (у хвойных) высотой 10–15 см (при хороших подкормках – до 20–25 см) быстро съедает питательные вещества крохотного торфяного комочка, корни не успевают расправиться и начать обеспечивать активно вегетирующий побег питательными веществами, а главное – водой, растение чахнет или гибнет. Именно отсюда в первую очередь происходят сомнения в преимуществах ПМЗКС, поскольку приходится тратить изрядные средства на дополнение или даже перепосадку неудовлетворительных лесных культур. Но ведь существует достаточное количество убедительных исследований и публикаций о необходимости продуманного подхода к выбору размера ячейки в зависимости от выращиваемой породы для разных (будущих) лесорастительных условий (Бахаровский, Горобченко, 1992; Перспективы..., 2013; Оплетаев и др., 2023; Развитие..., 2023; Рост..., 2024). Вместе с тем работы в данном направлении в разрезе даже государственных питомников видны плохо.

6. Технологическое оборудование

Еще одна существенная проблема, которая встречается в разных питомниках: разрыв единой составляющей проектирование – строительство – закупка основного и сопутствующего технологического оборудования – агротехника выращивания в силу того же 44-ФЗ и системы финансирования, о которой упоминалось выше.

Отсутствие отдельных узлов или неверный выбор элементов технологической линии по производительности в зависимости от планируемого объема выращивания ПМЗКС выливается в многолетние проблемы объема и качества выращиваемого посадочного материала. Например, нужный выталкиватель сеянцев зависит от разновидностей закупленных кассет.

7. Качество семян, их предобработка и посев

Вопрос качества посевного материала, казалось бы, решен давно: с середины 30-х годов прошлого века на необъятной территории СССР «...от Москвы до самых до окраин...» была заложена целая сеть географических культур, велся учет плюсовых насаждений и отдельных эталонных деревьев, закладывались ПЛСУ, маточные плантации, организовывался учет урожайности, регулярный сбор, хранение и использование элитных семян растений для целей лесовыращивания (Галдина, 2018; Корешков, Царева, 2021; Каппер, 1936; Лесосеменное районирование..., 1982; Огиеевский, 1916; Проказин, 1972; Справочник..., 1978; Влияние отходов..., 2024; Указания..., 2000), создавались (под разными названиями) контрольные станции лесных семян, что в настоящее время находятся в структуре Рослесозащиты (ЦЗЛ). Функции последней сильно не изменились и в числе главных по-прежнему обеспечение питомников семенами «улучшенного качества». Не вспоминая последнюю провальную четверть века, отметим положительное – возникли новые технологии (Патент № 2790449, 2023; Голиков, 2011; Демьянчук, Жигунов, 2011; Новиков, 2018; Смирнов и др., 2021), в лабораториях селекционных центров появилось новое оборудование (насколько полно и везде ли – вопрос не данной работы). Каков результат? Несмотря на почти столетнюю практику, даже в районах с (исторически) интенсивным ведением лесного хозяйства доля семян с улучшенными наследственными свойствами редко превышает 30 %, в иных регионах их не видят годами. Основная работающая схема (например, по хвойным): шишка от арендатора – шишкосушилка питомника – небольшая пробная партия семян в ЦЗЛ – (обратно) получение паспорта качества

семян – посев. Откуда шишка (или уже привезенные семена), с каких насаждений, какого ТУМ, с левой или правой спиральностью шишки (Голиков, 2011, Бакшаева, 1975, Рогозин и др., 2012), не (всегда) ясно, и вопрос этот совсем не праздный (Голиков, Кирюхина, 1984; Новиков, 2019; Оплетаев и др., 2023). Но все это больше относится к «лесам будущего», хотя нельзя не сказать, что выращивание ПМЗКС, как правило, производится почти наугад, чаще – от наличия семян, но в отсутствие закона о лесе, региональных программ рекультивации нарушенных земель нацелено не на *реальные* нужды страны (Сорокин, Недбаев, 2023). В текущем режиме: семена приходят с ЦЗЛ, зачастую не сортированные по размеру (в ТК соответствующее оборудование часто отсутствует), разных годов сбора и т. д., что неминуемо оказывается на всхожести и энергии роста сеянцев в одном посеве. Несмотря на огромное количество опубликованных работ, к потерям по выходу ПМЗКС с 1 м² теплицы ведут и другие недоработки в ТК, в частности, неверный выбор метода предобработки или подбора препаратов химического (permanganat калия, различные пестициды: об этом – ниже) или иного происхождения (бактерии рода *Bacillus* sp. или микромицеты рода *Trichoderma* sp.) для проправливания семян (от патогенов); то же относится к подготовке семян к посеву с применением как натуральных стимулирующих средств (влажные опилки, снегование, препараты «Биофулен», гумат калия, «ВЭРВА», «ЖУСС-2», янтарная, гибереллиновая, индолилмасляная и индолилуксусная кислоты, гетероауксин и проч.), так и препаратов химического происхождения («Циркон», «Крезацин», «Экопин», «Рибав-Экстра», «Мивал», «Эпин-Экстра», «Альбит», «Силиплант», «Корневин» и еще встречающийся на складах немецкий препарат «Тидиазурон» и др.) (Захаров и др., 2023; Кабанова и др., 2019; Коротков, Кох, 2023; Острошенко В. Ю., Острошенко Л. Ю., 2023; Потапова, 2014; Тюкавина, Демина 2022; Тюкавина, Демина 2023). Если к названным добавить всю пестроту предложений стимуляторов роста для сельскохозяйственных культур, то сложность выбора для работников ТК очевидна, тем более что ряд работ отдает разные предпочтения тем или иным

препаратам при выращивании одной и той же (древесной) породы. Неожиданные трудности на местах вызывает выбор не столько вида, сколько фракции мульчирующих материалов: отдают предпочтение завозным, но забывают о дешевых местных материалах, например, доступном почты повсеместно речном или песке с карьера или размолотой сосновой шишке отобранный фракции. Нередки проблемы с глубиной заделки семян или плодов в зависимости от выращиваемой древесной породы (Жигунов, 2000; Заика, Андреева, 1992). Слишком мелкая фракция мульчи (например, «спекание» цеолита) создает непробиваемый заслон гипокотелю, как и излишнее заглубление семени, отсюда – пустые ячейки; неверно выставленный посев – лишний расход семян с необходимостью раннего разреживания всходов (Новиков, 2019, Оплетаев и др., 2023), что в совокупности приводит к финансовым или потерям объема выращивания, удорожанию ПМЗКС.

8. Агротехника выращивания

Основы агротехники выращивания ПМЗКС разработаны давно. Когда субстрат в ячейках, семена посажены и замульчированы и осталось только соблюдать температурные и режимы поливов с внесением удобрений, периодические «интервенции» пестицидами, особенно если установлены современные системы климат-контроля, в том числе контроля влажности субстрата в ячейках и достаточного количества водорастворимых солей (См/см) в нем, – кажется, все проблемы решены. Но, во-первых, это больше характерно для современных (что важно) однотипных как государственных, так и некоторых частных теплиц, а во-вторых, не все теплицы имеют (достаточно дорогую) климат-систему и необходимы профессиональный скрупулезный контроль за всеми агротехническими приемами и принятие правильного и оперативного решения по внесению соответствующих корректировок (Оценка приемов..., 2023б). Например, в общих указаниях по поливам и подкормкам чаще всего приводится показатель расхода на 1 м² теплицы, но при размере ячейки в 50 см³ вымывание растворенных солей с водой и высыхание субстрата происходит интенсивнее,

нежели в ячейках более крупных, и т. д. Вместе с тем нельзя допускать перелив кассет, что ведет к заселению на поверхности ячеек зеленых водорослей, но, что хуже, слоевищ печеночных мхов рода маршанция (*Marchantia* L.) (Методы подавления..., 2019), препятствующих нормальному проникновению воды и питательных веществ к корням сеянцев. При отсутствии методики работники ТК обращаются к форумам в Интернете, которые пестрят советами по максимальному проливу посевов в первые месяцы и принимаются как руководство к действию. Не существует простой весовой способ контроля влажности субстрата на определенной стадии развития посевов. Стоит отметить еще один важный момент. Как говорилось выше, основа агротехники выращивания ПМЗКС заложена давно, в том числе в части минеральных подкормок, и этого в XX в. было, наверное, довольно (Гоцуляк, 1955; Огневский, Жигунов, 1982; Орлов, Кошельков, 1965). Но для XXI в. этого мало: так и не изучено в отличие от сельского хозяйства, какое количество и какой состав, например микроэлементов, необходим тому или иному виду древесных пород в процессе вегетации в питомнике (Безручко, 2021). Внесение удобрений «по общим прописям» не всегда приносит ожидаемую пользу сеянцам, снижает экономическую эффективность в выращивании ПМЗКС от перерасхода химикатов, удлиняет сроки выращивания. Еще хуже дела обстоят с применением бактериальных препаратов. История изучения растительно-микробных взаимодействий уже совсем не молода: начиная с 40–50-х годов XX в. данное направление в биологии получило активное развитие как у нас в стране, так и за рубежом и очень быстро вошло в практику сельского, но не лесного хозяйства. В ходе эволюции растения приобрели возможность оптимизации некоторых функций своей жизнедеятельности за счет использования потенциала микроорганизмов: с их помощью растение обеспечивает свои потребности в элементах минерального питания (азот, фосфор, калий, микроэлементы), фитогормонах, физиологически активных веществах; хорошо изучена роль бактерий, в частности родов *Bacillus*, *Pseudomonas* и др., в борьбе с фитопатогенами (Копытков, 2019, Максимов, 2018, Петров,

Чеботарь, 2011; Эндофитные бактерии..., 2016; Ризосферные бактерии..., 2016). Противогрибковых биопрепаратов достаточно много («Биовайс», «Фитоспорин», «Фрутин», «Гордебак» и проч.), и в последние годы в ТК стали использовать препараты с бактериями сенной палочки (*Bacillus subtilis*) (иногда вместе с микромицетом *Trichoderma*) (Городницкая, 2021), но применение бактерий в качестве помощников питания в ТК не наблюдается совсем. Проблемы три: первая – питомнику достаточно сдать стандартный материал заказчику, а в конечном результате – создании будущего насаждения – он не участвует и к нему равнодушен. Вторая – в *самом* питомнике значительный эффект от применения биопрепаратов (при активных минеральных подкормках) не всегда виден, и тратить, хоть и небольшие средства, ТК не заинтересован, требований со стороны РЛХ нет. Третья – работники ТК и арендаторы лесных участков опыта применения бактериальных препаратов в массе не имеют, а методические указания отсутствуют (включая видовой состав микробиоты в зависимости от выращиваемой породы, лесоклиматической зоны, (будущих) почвенных условий при создании ЛК).

9. Санитарные мероприятия

Торфяные субстраты, как правило, редко являются источником (грибных или бактериальных) болезней, не содержат семян сорных растений. Обычно инфекция распространяется через посевные семена, споры патогенов заносятся ветром с прилегающих к питомнику территорий, как и семена почвопокровных. В разных регионах своя специфика в проведении санитарных мероприятий, которая зависит от конкретного места создания питомника (заброшенные или старые лесные теплицы, старопахотные земли или иное), от его окружения (лесонасаждения в составе пород, заброшенные поля или обрабатываемые сельхозугодья, жилая застройка или предприятия по переработке сельхозпродукции и т. д.) и от климатических условий (в частности, влажности воздуха в период вегетации растений. Все это создает свой «наработанный годами фон» наличия вокруг микробиоты, видоспецифичности сорных растений,

энтомофауны, грызунов. Учитывая все факторы, включая состав выращиваемых пород (деревьев) в питомнике, необходимо иметь программу предventивных санитарных мероприятий, наличие средств борьбы, в первую очередь современных пестицидов, биопрепаратов, умение с ними обращаться, что встречается не часто, но больше в режиме аврала, когда уже бурно развивается эпизоотия, грозящая частичной или полной потерей посевов. Специалисты ТК зачастую с большим опозданием узнают, какие пестициды из Государственного каталога разрешенных, в том числе в теплицах, при выращивании хвойных пород запрещены к применению. Так, в 2024 г. были удалены или ограничены в применении многолетней практикой проверенные и надежные в борьбе с грибными патогенами препараты «Фундазол», «Беномил», «Феразим», «Дерозал Евро», «Ронилан», «Байлетон» «Ридомил Голд» и др., а взамен предложены, по существу, только два препарата – «Медея, МЭ» и «Абига-Пик, ВС» для борьбы с штутте и ржавчинными грибами. Та же проблема с инсектицидами: взамен проверенных препаратов типа «Децис» и «Циперметрин» предлагается к применению «Пиноцид, СК», «Дифлукцид, СП», «Клипер, КЭ» и др. с ненаработанной (достаточной) практикой применения в условиях лесных питомников. Сразу появились две проблемы: что делать с уже купленными пестицидами, а главное, что теперь применять (особенно в условиях начинаящейся эпизоотии) для борьбы с иными патогенами, какие родентициды использовать при нашествии грызунов, ведь применение (уже) запрещенных препаратов грозит серьезными штрафами со стороны Россельхознадзора. К сожалению, рефреном звучит: работа лесного подразделения ресурсного министерства и здесь смотрится недостаточной: ни выпуска периодических бюллетеней, ни иных информационных рассылок по действующим ТК не производится.

10. Информационный вакуум

Странная проблема в век информатизации: регулярно выходят реферативные журналы, научные журнальные статьи и монографии, проводятся конференции, форумы, издаются материалы

съездов, с отражением в Интернете eLibrary.ru и т. д. и т. п. Однако собирать воедино «рассыпанную» по изданиям информацию, определять, что лучше подходит для конкретных условий, не задача производственника: это проблема «незаполненных лакун», управленческих недоработок. Важно не распылять денежные средства и оставшиеся научные ресурсы подведомственных НИИ, а вычленять важные проблемы, пробелы, концентрируя все имеющиеся в распоряжении силы, ресурсы на скорейшее решение их в кратчайшие сроки. Хуже всего в постперестроечные времена налажена межведомственная научная кооперация, в частности, с различными НИИ РАН, университетскими кафедрами, в чем не было затруднений в советские времена. В этом «индивидуализме» кроется и одна из нерешенных проблем – отсутствие полноценных (в данный период времени) методических указаний по агротехнике выращивания ПМЗКС в ТК в конкретном регионе для конкретных нужд.

Нельзя сказать, что работы по апробированию тех или иных агротехнических приемов, включая доращивание микрорастений в условиях ТК, созданию лесных культур с использованием различного вида посадочного материала, в том числе с ЗКС, применению новых пестицидов в лесном хозяйстве не проводятся совсем (Усовершенствованные технологии..., 2023, Сравнительный анализ..., 2023). Однако последняя четверть века показала, что с упразднением Министерства лесного хозяйства, передачей функции развития – в широком смысле – лесной науки вкупе с лесным хозяйством в ресурсное министерство пропала целенаправленность, концентрированность интеллектуальных и финансовых средств в решении не только проблем текущего времени, но и перспективного развития (Сорокин, 2023, 2024). Лесное подразделение нового министерства применительно к теме статьи не инициирует заполнение существующих «лакун» в цепочке выращивания ПМЗКС от создания самих ТК до выпуска сеянцев (или саженцев) в объеме и качестве, необходимых в данном регионе, что и приводит к сомнениям в эффективности всего процесса. На сегодняшний день из 102 научных работ, кото-

рые будут выполняться в системе РЛХ в 2025 г., лишь две посвящены проблематике выращивания ПМЗКС в тепличных комплексах.

Выводы

1. Лесной отрасли в РФ поставлена амбициозная задача по лесовосстановлению и лесоразведению на всех участках вырубленных и погибших насаждений, созданию высокопродуктивных устойчивых насаждений в различных лесорастительных условиях с применением современных методов лесовыращивания, в том числе с получением посадочного материала с закрытой корневой системой с улучшенными наследственными качествами в тепличных комплексах, однако проектирование, строительство и эксплуатация тепличных комплексов не всегда учитывает все местные особенности, реальные потребности региона в том или ином виде посадочного материала.

2. Создание ТК – не самоцель, а составная часть процесса лесовосстановления и лесоразведения, и они взаимосвязаны, вследствие чего эффективность работы ТК должна вкупе с *накопившимися проблемами* рассматриваться по двум составляющим.

2.1. Встречающиеся проблемы, приводящие к низкой экономической (и лесоводственной) эффективности выращивания ПМЗКС в ТК:

- неправильный выбор места и неполный учет климатических и ситуативных условий строительства ТК, неоправданная экономия на конструктивных элементах;
- отсутствие отдельных узлов или неверный выбор элементов технологической линии по производительности в зависимости от планируемого объема выращивания ПМЗКС;
- неприменение наиболее дешевых, уже прошедших испытания или отсутствие внимания и непроведение испытаний иных, но не уступающих по качеству классическим, местных, региональных субстратов и мульчирующих материалов;

– качественный состав семян, предназначенных к посеву, далеко не всегда соответствует заявленным высоким требованиям современности, оставаясь на уровне 50-летней давности;

– применение не самых эффективных способов или препаратов при предобработке семян перед посевом;

– неприменение природных органоминеральных удобрений, кремниевых препаратов и др.;

– неверный выбор системы поливов, подкормок и профилактических санитарных мероприятий в процессе вегетации сеянцев.

2.2. Дополнительные недоработки в ТК, сказывающиеся на показателях приживаемости и роста лесных культур:

– невнесение мицелия грибов-симбиотов (соответствующих выращиваемой древесной породе и будущему ТУМ при создании лесных культур) в ячейки с почвенным субстратом перед посевом;

– невнесение бактериальных препаратов в почвенный субстрат ПМЗКС перед отгрузкой на лесокультурную площадь, особенно перед посадкой в сложных почвенных или климатических условиях;

– неправильный выбор размера ячейки в кассетах, особенно для ПМЗКС с посадкой в сложных почвенных или климатических условиях;

– неиспользование влагоудерживающих составляющих в почвенных субстратах (кремний-содержащих, гидрогелей и т. п.) для ПМЗКС

с (будущей) посадкой в сложных почвенных или климатических условиях;

– посев семян и отпуск ПМЗКС не от текущих нужд лесовосстановления в регионе, а от наличия семян в ТК или лесосеменном центре.

3. Необходимо активизировать работу по созданию методических рекомендаций по агротехнике выращивания ПМЗКС в первую очередь при строительстве новых, стандартизованных ТК с проектированием профильными региональными НИИЛХами, с периодическим обновлением содержания в соответствии с новациями по различным вопросам.

4. Необходимо регулярно, не реже одного раза в два-три года, выпускать бюллетени (с рассылкой по ТК) о происходящих изменениях, новациях, периодически собирая во ВНИИЛМе не столько для обучения, сколько для обмена опытом круглые столы согласно тематике, в данном случае специалистов по выращиванию ПМЗКС независимо от вида собственности ТК.

5. В профильных (лесных) вузах страны необходимо создать отделения (например, в составе кафедр лесных культур) по выпуску специалистов для работы в ТК с углубленными знаниями аналитической химии, физиологии растений, микробиологии.

Список источников

- Бакшиаева В. И. К вопросу о явлении диссимметрии у сосны обыкновенной в Карелии // Повышение продуктивности хвойных лесов Карелии. Петрозаводск : Карельский ФАН СССР. 1975. Т. 22. Вып. 3. С. 74–106.
- Бахаровский И. А., Горобченко М. Е. Развитие однолетних сеянцев некоторых хвойных пород-интродуцентов в контейнерах различного объема // Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур. СПб. : ЛенНИИЛХ, 1992. С. 42–47.
- Безручко Е. В. НедоБор или переБор? Как избежать рисков // Защита и карантин растений. 2021. № 7. С. 28–30.
- Бракис Н. А. Сапропелевые отложения и пути их использования. Рига : Зинатне, 1971. 282 с.
- Брокс Я. Я. Актуальные вопросы использования торфа в производстве посадочного лесокультурного материала с необнаженной корневой системой. Рига : Зинатне, 1977. С. 69–77.
- Брындина Л. В., Арнаут Ю. И., Алыкова О. И. Микоризообразующие грибы в формировании биогеоценозов: аналитический обзор // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12, № 1 (45). С. 4–20.
- Влияние опилочно-почвенных субстратов на рост саженцев сосны и ели в лесопитомнике экспериментального хозяйства «Погорельский бор» / Г. И. Антонов, А. П. Барченков, Н. В. Пащенова, О. Э. Кондакова // Лесоведение. 2021. № 3. С. 303–317.

- Влияние отходов целлюлозно-бумажного комбината в субстратах на развитие корневой системы ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) при выращивании в гидропонных установках / Е. С. Сорокин, Е. А. Беляева, Э. А. Генрих [и др.] // Естественные и технические науки. 2024. № 2. С. 122–126.
- Всхожесть семян и биометрические параметры сеянцев на субстратах из твердых отходов целлюлозно-бумажной промышленности / Д. Н. Тебенькова, Н. В. Лукина, Р. А. Воробьев, М. А. Орлова // Лесоведение. 2014. № 6. С. 31–40.
- Высокая эффективность применения контейнерного метода выращивания посадочного материала древесных растений вне зависимости от почвенно-климатических условий региона / В. Б. Любимов, М. В. Ларионов, И. В. Мельников, И. В. Москаленко // Фундаментальные исследования. 2015. Вып. 2. Ч. 22. С. 4909–4913.
- Галдина Т. Е. Географические культуры в центральной лесостепи как объект стационарных исследований // Леса России: политика, наука, промышленность, образование : матер. III Междунар. науч.-техн. конф. (23–24 мая 2018 г.). СПб. : ГЛТУ им. С. М. Кирова. 2018. Т. 1. С. 51–54.
- Геронина Е. А. Перспективы использования искусственной микоризации при выращивании сеянцев с закрытой корневой системой // Труды СПбНИИЛХ. 2014. № 4. С. 50–58.
- Голиков А. М. Использование эколого-диссимметрийного подхода для интенсификации процесса генетического изучения хвойных лесов // Труды СПбНИИЛХ. 2011. Вып. 1 (24), Ч. 1. С. 63–67.
- Голиков А. М., Кирюхина Н. А. Величина семян и рост однолетних тепличных сеянцев ели // Сборник научных трудов ЛенНИИЛХ. 1984. С. 16–21.
- Гоцулак В. Д. Сезонное поглощение азота и зольных веществ сеянцами и саженцами дуба и ясения // Труды Института Леса АН СССР. 1955. Т. XXIV. С. 137–143.
- Демьянчук А. М., Жигунов А. В. Потенциальные возможности и перспективы рентгеновской диагностики семян лесных растений для сепарации на основе компьютерного анализа // Инновации и технологии в лесном хозяйстве : матер. Междунар. науч.-практ. конф. 22–23 марта 2011 г. СПб., 2011. С. 57–58.
- Дифференцированное применение посадочного материала для создания лесных культур / Е. М. Романов, А. Е. Самосудов, Т. В. Нуреева, М. В. Бекмансуров // Вестник ПГТУ. Серия : Лес. Экология. Природопользование. 2023. № 2 (58). С. 6–29.
- Дурова А. С., Жигунов А. В. Влияние биоугля на всхожесть семян и рост сеянцев хвойных пород в условиях закрытого грунта // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 219. С. 18–31.
- Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб. : СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.
- Заика И. Б., Андреева К. Н. Влияние состава мульчирующего материала и глубины посева на рост однолетних контейнеризированных сеянцев в теплицах летнего типа // Сборник научных трудов ЛенНИИЛХ. 1992. С. 37–42.
- Зайцева М. И. Особенности применения порубочных остатков березы при выращивании сеянцев сосны обыкновенной // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2010. № 8. С. 53–56.
- Захаров А. Б., Воробьев Р. А., Мишанова М. И. Применение биологически активных препаратов в предпосевной обработке семян ели европейской // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4. С. 36–45.
- Игаунис Г. А. Биологические основы ускоренного выращивания сеянцев древесных пород. Рига : Зинатне, 1974. 129 с.
- Изменение качественных параметров торфяных субстратов в зависимости от технологических приемов и условий комплексов по выращиванию контейнеризированных сеянцев / В. В. Носников, А. М. Граник, А. В. Юрения, О. А. Селищева // Труды БГТУ. Серия 1 : Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2023а. № 2. С. 28–35.

- Кабанова С. А., Борцов В. А., Данченко М. А. Результаты опыта по предпосевной обработке семян и выращиванию сеянцев бересклета повислого в закрытом грунте // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9, № 3 (35). С. 16–24.
- Каннер В. Г. Лесосеменное дело : пособие для младшего технического персонала. Л. : Гослестехиздат, 1936. 131 с.
- Копытков В. В. Агротехника выращивания сеянцев дуба черешчатого с закрытой корневой системой с использованием микробных препаратов // Труды СПбНИИЛХ. 2019. № 2. С. 31–39.
- Копытков В. В. Технология получения органоминеральных компостов лесного и сельскохозяйственного производства // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. Гомель, 2020. Вып. 80. С. 45–48.
- Корешков Н. В., Царева Е. А. Географические культуры лиственницы. СПб. : Наукоемкие технологии, 2021. 413 с.
- Коротков А. А., Кох Ж. А. Исследование влияния ростостимулирующих веществ на прорастание семян хвойных растений // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 6. С. 541–545.
- Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М. : Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
- Максимов И. В. Эндофитные микроорганизмы в комплексной защите растений от патогенов и вредителей // Современные подходы и методы в защите растений : сб. матер. конф. 12–14 ноября. Екатеринбург, 2018. С. 8–11.
- Максимов Ю. Г., Шетко В. А., Максимов А. Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 1. С. 23–42.
- Маркетинговое исследование рынка посадочного материала хвойных деревьев с закрытой корневой системой. Красноярск : Сибирская финансовая система, 2023. 125 с.
- Маттис Г. Я. Интенсификация выращивания посадочного материала для защитного лесоразведения. М. : Лесн. пром-сть, 1976. 144 с.
- Маштаков Д. А., Прахов А. В., Арестова Е. А. Приживаемость и рост сосны обыкновенной в условиях применения полимеров для условия степи и лесостепи // Научная жизнь. 2022. Т. 17, № 6. С. 916–923.
- Методы подавления маршанции изменчивой (*Marchantia polymorpha* L.) и других мхов при выращивании сеянцев сосны и ели с закрытой корневой системой / А. Б. Егоров, А. А. Бубнов, Л. Н. Павлюченкова [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства / СПбНИИЛХ. 2019. № 1. С. 25–39.
- Мордась А. А. Выращивание сеянцев хвойных пород в теплицах с полиэтиленовым покрытием. Л. : ЛенНИИЛХ, 1983. 34 с.
- Мосолов И. В. Физиологические основы применения минеральных удобрений. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Колос, 1979. 255 с.
- Наквасина Е. Н., Коптев С. В., Никитина М. В. Субстраты на основе торфа и компостиированного активированного ила Архангельского целлюлозно-бумажного комбината для выращивания посадочного материала хвойных пород // Лесной вестник. 2024. Т. 28, № 3. С. 67–77.
- Новиков А. И. Влияние сортирования семян сосны обыкновенной по цвету и размерам на их грунтовую всхожесть в контейнерах // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII, № 5. С. 313–319.
- Новиков А. И. Экспресс-анализ лесных семян биофизическими методами. Воронеж : ВГЛУ, 2018. 128 с.
- Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : приказ МПР от 29 декабря 2021 года № 1024. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения: 10.08.2025).
- О недрах : Федеральный закон от 21.02.1992 № 2395-1. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/ (дата обращения: 10.08.2025).

- О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/ (дата обращения: 10.08.2025).
- Огневский В. Д.* К вопросу о влиянии происхождения семян на рост леса. Петроград : Изд. М. А. Александрова, 1916. 20 с.
- Огневский Д. В., Жигунов А. В.* Применение минеральных удобрений при выращивании посадочного материала в теплицах : метод. рекомендации. Л. : ЛенНИИЛХ, 1982. 40 с.
- Оппетаев А. С., Жигулин Е. В., Залесов С. В.* Опыт многоротационного выращивания контейнерного посадочного материала для искусственного лесовосстановления в теплицах с регулируемым микроклиматом // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 2. С. 152–157.
- Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу // *Е. В. Робонен, М. И. Зайцева, Н. П. Чернобровкина [и др.]* // Resources and Technology. 2015. Т. 12, № 1. С.47–76.
- Орлов А. Я., Кошельков С. П.* Об оценке плодородия лесных почв // Почвоведение. 1965. № 3. С. 62–71.
- Острошенко В. Ю., Острошенко Л. Ю.* Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесной журнал. 2023. № 4. С. 93–104.
- Оценка приемов повышения грунтовой всхожести желудей и выхода посадочного материала дуба черешчатого с закрытой корневой системой / *В. В. Носников, А. А. Овсей, В. Э. Мишина, А. В. Потапова* // Труды БГТУ. Сер. 1 : Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2023б. № 2. С. 46–53.
- Патент № 2790449 C1 Российская Федерация, МПК A01C 1/06. Способ повышения всхожести семян и стрессоустойчивости сеянцев хвойных пород : № 2022106818 : заявл. 15.03.2022 : опубл. 21.02.2023 / *Л. М. Анашева, Л. А. Смуррова, О. Т. Касаикина [и др.]* ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54428103_69601876.PDF (дата обращения: 10.08.2025).
- Патент № 2562526 Российская Федерация, МПК C05F 11/00 (2006.01). Способ биотехнологической переработки твердых отходов целлюлозно-бумажной промышленности для получения биогумуса, включающий стадию обработки грибами и стадию вермипереработки : № 2013143384 ; заявл. 26.09.2013 : опубл. 10.08.2014 / *Н. В. Лукина, Д. Н. Тебенькова, М. А. Орлова [и др.]* ; заявитель ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2562526C2_20150910.pdf (дата обращения: 20.06.2025).
- Перспективы выращивания сеянцев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с закрытой корневой системой в условиях Воронежской области / *О. М. Корчагин, П. М. Евлаков, Л. А. Рязанцева, В. Ю. Заплетин* // Инновации и технологии в лесном хозяйстве : тез. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. СПб., 2013. С. 36–43.
- Петров В. Б., Чеботарь В. К.* Микробиологические препараты – базовый элемент современных интенсивных агротехнологий растениеводства // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 11–15.
- Повышение плодородия почв лесных питомников путем внесения отходов ЦБП / *Н. Г. Федорец, Р. В. Леонтьева, Л. Г. Пилюгина, Г. М. Кураева* // Петрозаводск : Карельский научный центр АН СССР, 1990. С. 5–14.
- Посадочный материал с закрытой корневой системой / *Е. Л. Маслаков, С. Х. Белостоцкая, А. В. Жигунов [и др.]*. М. : Лесн. пром-сть, 1981. 143 с.
- Потапова Ю. А.* Влияние стимуляторов роста на всхожесть и развитие сеянцев растений семейства сосновых в питомниках Приморского края // Инновации и технологии в лесном хозяйстве : тез. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. СПб. : СПбНИИЛХ, 2014. С. 162.

- Применение синтетических пленок в лесном хозяйстве / под ред. А. Д. Букштыкова. М. : Лесн. пром-сть, 1969. 176 с.
- Проказин Е. П. Изучение имеющихся и создание новых географических культур (Программа и методика работ). Пушкино : ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
- Развитие лесных культур сосны обыкновенной, созданных посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой в различных условиях Республики Татарстан / В. В. Сахнов, А. П. Прокопьев, И. Р. Галиуллин, С. Г. Глушко // Лесной вестник. 2023. Т. 27, № 2. С. 38–48.
- Результаты использования сеянцев с закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в условиях Байкальского горного лесного района / А. Н. Гладинов, Е. В. Коновалова, Э. Б. Ользева, С. Ч. Содбоева // Вестник БГСХА. 2023. № 4. С. 97–105.
- Рейнер М. Ц., Нельсон-Джонс В. Роль микориз в питании деревьев. М. : Иностран. лит-ра, 1949. 236 с.
- Ризосферные бактерии / Н. В. Феоктистова, А. М. Марданова [и др.] // Ученые записки Казанского университета. Серия : Естественные науки. Казань, 2016. Т. 158. Кн. 2. С. 207–224.
- Рогозин М. В., Голиков А. М., Комаров С. А. Правые и левые формы ели в потомстве плюсовых деревьев в Пермском крае // Вестник Пермского университета. 2012. № 2. С. 9–12.
- Российский и мировой опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, Д. В. Иванов [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 4. С. 250–258.
- Рост сеянцев сосны кедровой сибирской с закрытой корневой системой на экспериментальных субстратах / Д. А. Кановалова, Н. П. Братилова, А. В. Мантулина, А. А. Коротков // Лесной вестник/Forestry Bulletin. 2024. Т. 28, № 5. С. 55–67.
- Смирнов А. И., Орлов Ф. С., Аксенов П. А. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на лабораторную всхожесть семян и выход сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесной вестник. 2021. Т. 25, № 4. С. 21–26.
- Сорокин С. Н. Лесное хозяйство России: потребности и пути развития // Столяровские чтения : матер. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию акад. Д. П. Столярова. СПб. : СПбНИИЛХ, 2023. С. 67–72.
- Сорокин С. Н., Недбаев И. С. Проблемы и перспективы утилизации осадков сточных вод и рекультивации нарушенных земель на Северо-Западе России и пути их совместного решения // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Наука о земле. 2023. Т. 33. Вып. 1. С. 58–71.
- Сорокин С. Н. Технологии лесовосстановления и лесоразведения : вчера и сегодня // Инновации и технологии в лесном хозяйстве : матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию Санкт-Петербургского науч.-исслед. ин-та лесн. хоз-ва, 16–17 мая 2024 года, Санкт-Петербург. СПб. : СПбНИИЛХ, 2024. С. 322–335.
- Справочник по лесосеменному делу / под ред. А. И. Новосельцевой. М. : Лесн. пром-сть, 1978. 336 с.
- Сравнительный анализ эффективности применения различных препаратов при выращивании сеянцев дуба черешчатого в условиях Республики Татарстан // И. Р. Тазиев, Т. М. Тазиев, Х. Г. Мусин [и др.] // Труды СПбНИИЛХ. 2023. № 2. С. 45–56.
- Сырчина Н. В., Терентьев Ю. Н., Мельникова А. Н. Использование золы подсолнечника для производства комплексного органоминерального удобрения и монофосфата калия // Экология родного края : проблемы и пути решения : сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (28–29 апреля 2016 г.). Киров : Радуга-ПРЕСС, 2016. Кн. 2. С. 32–34.
- Тюкавина О. Н., Демина Н. А. Биологические активные препараты для стимуляции роста сеянцев хвойных // Вестник БГСХ. 2023. № 1. С. 122–133.
- Тюкавина О. Н., Демина Н. А. Практика повышения посевных качеств семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.) // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 6. С. 75–91.

- Указания ФСЛХ от 11.01.2000 г. по лесному семеноводству в Российской Федерации. М. : ФСЛХ РФ. 141 с.
- Усовершенствованные технологии выращивания сеянцев лесообразующих пород в Волгоградской области / Д. В. Сапронова, А. И. Беляев, А. В. Семенютина [и др.] // Сибирский журнал биологических наук и сельского хозяйства. 2023. Т. 15, № 5. С. 228–245.
- Чурагулова З. С. Лесоразведение и воспроизводство лесов. Почвенные условия выращивания сеянцев и саженцев древесных растений : учеб. пособие для СПО. СПб. : Лань, 2023. 244 с.
- Шубин В. И. Микотрофность древесных пород, ее значение при разведении леса в таежной зоне. Л. : Наука, 1973. 264 с.
- Эндофитные бактерии древесных растений как основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства / В. К. Чеботарь, А. В. Щербаков [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 4. С. 40–44.
- Эффективность использования микоризы и полимерных материалов при выращивании сеянцев сосны в засушливых условиях / С. Н. Крючков, А. В. Вдовенко, А. В. Зарубина, С. А. Егоров // Научно-агрономический журнал. 2021. № 2. С. 34–38.

References

- About the subsoil Law : Federal Law of 02.21.1992 № 2395-1. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/ (accessed 10.08.2025).
- Bakharovsky I. A., Gorobchenko M. E. Development of annual seedlings of some introduced coniferous species in containers of various volumes // Technology of creation and ecological aspects of cultivation of highly productive forest crops. St. Petersburg : LenNIILH, 1992. P. 42–47. (In Russ.)
- Bakshayeva V. I. On the question of the phenomenon of dissymmetry in common pine trees in Karelia // Increasing the productivity of coniferous forests in Karelia. Petrozavodsk : Karelian FAN of the USSR, 1975. Vol. 22. Issue 3. P. 74–106. (In Russ.)
- Bezruchko E. V. Shortage or overkill? How to avoid risks // Plant protection and quarantine. 2021. № 7. P. 28–30. (In Russ.)
- Braksh N. A. Sapropel deposits and ways of their use. Riga : Zinatne, 1971. 282 p.
- Broks Ya. Ya. Actual issues of peat use in the production of planting forest culture material with an undiscovered root system. Riga : Zinatne, 1977. P. 69–77. (In Russ.)
- Bryndina L. V., Arnaut Yu. I., Alykova O. I. Mycorrhizal fungi in the formation of biogeocenoses : an analytical review // Forestry Engineering Journal. 2022. Vol. 12, № 1 (45). P. 4–20. (In Russ.)
- Changes in the qualitative parameters of peat substrates depending on the technological methods and conditions of complexes for growing containerized seedlings / V. V. Nosnikov, A. M. Granik, A. V. Yurenya, O. A. Selishcheva // Proceedings of BSTU. Ser.1 Forestry, environmental management and processing of renewable resources. 2023. № 2. P. 28–35. (In Russ.)
- Churagulova Z. S. Afforestation and reproduction of forests. Soil conditions for growing seedlings and seedlings of woody plants : textbook for SPO. St. Petersburg : Lan, 2023. 244 p.
- Comparative analysis of the effectiveness of the use of various preparations in the cultivation of oak seedlings in the Republic of Tatarstan / I. R. Taziev, T. M. Tazmeev, H. G. Musin [et al.] // Proceedings of St. Petersburg Research Institute. 2023. № 2. P. 45–56. (In Russ.)
- Demyanchuk A. M., Zhigunov A. V. Potential possibilities and prospects of X-ray diagnostics of forest plant seeds for separation based on computer analysis // Innovations and technologies in forestry : Materials of the international scientific and practical conference on March 22–23, 2011. St. Petersburg, 2011. P. 57–58. (In Russ.)

- Differentiated application of planting material for the creation of forest crops / *E. M. Romanov, A. E. Samosudov, T. V. Nureeva, M. V. Bekmansurov* // Bulletin of the Moscow State Technical University. The Forest series. Ecology. Environmental management. 2023. № 2 (58). P. 6–29. (In Russ.)
- Durova A. S., Zhigunov A. V.* The effect of biochar on seed germination and growth of coniferous seedlings in closed ground conditions // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2018. Issue 219. P. 18–31.
- Ecobiotechnology in forest restoration // *I. D. Grodnitskaya, G. I. Antonov, V. A. Senashova* [et al.] // Science and Technology. 2021. № 2. P. 32–34. (In Russ.)
- Endophytic bacteria of woody plants as the basis of complex microbial preparations for agriculture and forestry / *V. K. Chebotar, A. V. Shcherbakov* [et al.] // Russian Agricultural Science. 2016. № 4. P. 40–44. (In Russ.)
- Evaluation of techniques for increasing the ground germination of acorns and the yield of planting material of oak petioles with a closed root system / *V. V. Nosnikov, A. A. Ovsey, V. E. Mishina, A. V. Potapova* // Proceedings of BSTU. Ser. 1 : Forestry, environmental management and processing of renewable resources. 2023. № 2. P. 46–53. (In Russ.)
- Experience in the development and use of container substrates for forest nurseries. Alternatives to peat / *E. V. Robonen, M. I. Zaitseva, N. P. Chernobrovkina* [et al.] // Resources and Technology. 2015. Vol. 12, № 1. P. 47–76. (In Russ.)
- Forest-seed zoning of the main forest-forming species in the USSR. Moscow : Lesnaya industriya, 1982. 368 p.
- Galdina T. E.* Geographical cultures in the central forest-steppe as an object of stationary research // Forests of Russia : politics, science, industry, education : in the Proceedings of the Third International Scientific and Technical Conference (May 23–24, 2018). St. Petersburg : GLTU named after S. M. Kirov. 2018. Vol. 1. P. 51–54. (In Russ.)
- Gerolina E. A.* Prospects of using artificial mycorrhization in the cultivation of seedlings with a closed root system // Proceedings of SPbNIILH. 2014. № 4. P. 50–58. (In Russ.)
- Golikov A. M.* The use of an ecological-dissymmetry approach to intensify the process of genetic study of coniferous forests // Proceedings of the St. Petersburg Institute of Natural Sciences. 2011. Vol. 1 (24). Part 1. P. 63–67. (In Russ.)
- Golikov A. M., Kiryukhina N. A.* Seed size and growth of annual greenhouse seedlings in spruce // Collection of scientific papers LenNIILH. 1984. P. 16–21. (In Russ.)
- Gotsulyak V. D.* Seasonal absorption of nitrogen and ash substances by oak and ash seedlings and seedlings // Proceedings of the Institute of Forestry of the USSR Academy of Sciences. 1955. T. XXIV. P. 137–143. (In Russ.)
- Growth of Siberian cedar pine seedlings with a closed root system on experimental substrates / *D. A. Kanovalova, N. P. Bratilova, A. V. Mantulina, A. A. Korotkov* // Forest Bulletin/Forestry Bulletin. 2024. Vol. 28, № 5. P. 55–67. (In Russ.)
- Handbook of forest seed business / edited by A. I. Novoseltseva. Moscow : Forest Industry, 1978. 336 p.
- High efficiency of using the container method of growing woody plant planting material regardless of the soil and climatic conditions of the region / *V. B. Lyubimov, M. V. Larionov, I. V. Melnikov, I. V. Moskalenko* // Fundamental Research. 2015. Vol. 2. Part 22. P. 4909–4913. (In Russ.)
- Igaunis G. A.* Biological foundations of accelerated cultivation of tree species seeds. Riga : Zinatne, 1974. 129 p.
- Improved technologies for growing seedlings of forest-forming species in the Volgograd region / *D. V. Sapronova, A. I. Belyaev, A. V. Semenyutina* [et al.] // Siberian Journal of Biological Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, № 5. P. 228–245. (In Russ.)
- Increasing soil fertility in forest nurseries by introducing CBP waste / *N. G. Fedorets, R. V. Leontieva, L. G. Pilyugina, G. M. Kuraeva* // Petrozavodsk : Karelian Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1990. P. 5–14. (In Russ.)

- Instructions of the Federal Agricultural Service of 11.01.2000 on forest seed production in the Russian Federation. Moscow : FSLH RF. 141 p.
- Kabanova S. A., Bortsov V. A., Danchenko M. A.* Results of experience in pre-sowing seed treatment and cultivation of birch seedlings in closed ground // Forestry Journal. 2019. Vol. 9, № 3 (35). P. 16–24. (In Russ.)
- Kapper V. G.* Forest seed business : manual for junior technical personnel. Leningrad : Goslestezhizdat, 1936. 131 p.
- Kopytkov V. V.* Agrotechnics of growing oak seedlings with a closed root system using microbial preparations // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Agriculture. 2019. № 2. P. 31–39. (In Russ.)
- Kopytkov V. V.* Technology of obtaining organomineral components of forest and agricultural production // Problems of forestry and forestry : Collection of scientific papers. Gomel, 2020. Issue 80. P. 45–48. (In Russ.)
- Koreshkov N. V., Tsareva E. A.* Geographical cultures of larch. St. Petersburg : High-tech technologies, 2021. 413 p.
- Korotkov A. A., Koh J. A.* Investigation of the effect of growth-stimulating substances on the germination of coniferous seeds // Coniferous forests of the boreal zone. 2023. Vol. 41, № 6. P. 541–545. (In Russ.)
- Maksimov I. V.* Endophytic microorganisms in the complex protection of plants from pathogens and pests // Modern approaches and methods in plant protection : conference proceedings November 12–14. Yekaterinburg, 2018. P. 8–11. (In Russ.)
- Maksimov Yu. G., Shetko V. A., Maksimov A. Yu.* Polymer hydrogels in agriculture // Agricultural Biology. 2023. Vol. 58, № 1. P. 23–42. (In Russ.)
- Marketing research of the market for planting coniferous trees with a closed root system. Krasnoyarsk : Siberian Financial System, 2023. 125 p.
- Mashtakov D. A., Prakhov A. V., Arrestova E. A.* Survival and growth of Scots pine in conditions of polymer application for steppe and forest-steppe conditions // Scientific Life. 2022. Vol. 17, № 6. P. 916–923. (In Russ.)
- Mattis G. Ya.* Intensification of the cultivation of planting material for protective afforestation. Moscow : Forest Industry, 1976. 144 p.
- Methods of suppression of *Marchantia polymorpha* L. and other mosses in the cultivation of pine and spruce seedlings with a closed root system / A. B. Egorov, A. A. Bubnov, L. N. Pavlyuchenkova [et al.] // Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry / SPbNIILH. 2019. № 1. P. 25–39. (In Russ.)
- Mordas A. A.* Cultivation of coniferous seedlings in greenhouses with polyethylene coating. Leningrad : LenNIILH, 1983. 34 p.
- Mosolov I. V.* The physiological basis of the use of mineral fertilizers, 2nd edition revised and expanded. Moscow : Kolos, 1979. 255 p.
- Nakvasina E. N., Koptev S. V., Nikitina M. V.* Substrates based on peat and composted activated sludge of the Arkhangelsk cellulose and Paper Mill for growing softwood planting material // Forest Bulletin. 2024. Vol. 28, № 3. P. 67–77. (In Russ.)
- Novikov A. I.* Express analysis of forest seeds by biophysical methods. Voronezh : VGLU, 2018. 128 p.
- Novikov A. I.* The effect of sorting Scots pine seeds by color and size on their soil germination in containers // Conifers of the boreal zone. 2019. Vol. XXXVII, № 5. P. 313–319. (In Russ.)
- Ogievsky D. V., Zhigunov A. B.* The use of mineral fertilizers in the cultivation of planting material in greenhouses : Methodological recommendations. Leningrad : LenNIILH, 1982. 40 p.
- Ogievsky V. D.* On the question of the influence of seed origin on forest growth. Petrograd : Publishing house of M. A. Alexandrov, 1916. 20 p.
- On approval of the Rules of Reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form

of the reforestation project : MPR Order № 1024 dated December 29, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/72811111> (accessed 10.08.2025).

On the contract system in the field of procurement of goods, works, and services for State and Municipal needs : Federal Law № 44-FZ dated 05.04.2013. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/ (accessed 10.08.2025).

Opletaev A. S., Zhigulin E. V., Zalesov S. V. Experience of multi-rotation cultivation of container planting material for artificial reforestation in greenhouses with a controlled microclimate // Coniferous forests of the boreal zone. 2023. Vol. XLI, № 2. P. 152–157. (In Russ.)

Orlov A. Ya., Purshkov S. P. On assessing the fertility of forest soils // Soil science. 1965. № 3. P. 62–71. (In Russ.)

Ostroshenko V. Yu., Ostroshenko L. Yu. The effect of stimulants on seed germination and seedling growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Lesnoy zhurnal. 2023. № 4. P. 93–104. (In Russ.)

Patent № 2562526 RF, MPK C05F 11/00 (2006.01). A method for biotechnological processing of solid waste from the pulp and paper industry with fungi and a stage of vermicomposting : № 2013143384 ; declared 26.09.2013 : Published 10.08.2014 / N. V. Lukina, D. N. Tebenkova, M. A. Orlova [et al.] ; applicant FGBUN Center for Problems of Ecology and Productivity of forests of the Russian Academy of Sciences. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2562526C2_20150910.pdf (accessed 20.06.2025).

Patent № 2790449 C1 Russian Federation, IPC A01C 1/06. A method for increasing seed germination and stress resistance of coniferous seedlings : № 2022106818 : application dated 15.03.2022 : published 21.02.2023 / L. M. Apasheva, L. A. Smurova, O. T. Kasaikina [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center for Chemical N. N. Semenov Physics of the Russian Academy of Sciences. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54428103_69601876.PDF (accessed 10.08.2025).

Petrov V. B., Chebotar V. K. Microbiological preparations are a basic element of modern intensive agrotechnologies of crop production // Achievements of science and technology of the Agroindustrial Complex. 2011. № 8. P. 11–15. (In Russ.)

Planting material with a closed root system / E. L. Oikov, S. H. Belostotskaya, A. V. Zhigunov [et al.]. Moscow : Forest industry, 1981. 143 c.

Potapova Yu. A. The effect of growth stimulants on the germination and development of seedlings of plants of the pine family in nurseries of Primorsky Krai // Innovations and technologies in forestry : Abstracts of reports at the IV International Scientific and Technical Conference. St. Petersburg : SPbNIILH, 2014. P. 162. (In Russ.)

Prokazin E. P. Study of existing and creation of new geographical cultures (Program and methodology of work). Pushkino : VNIILM, 1972. 52 p.

Prospects of growing seedlings of oak with a closed root system (*Quercus robur* L.) in the Voronezh region / O. M. Korchagin, P. M. Yevlakov, L. A. Ryazantseva, V. Y. Zapletin // Innovations and Technologies in Forestry : Abstracts of reports at the III International Scientific and Technical Conference. St. Petersburg : SPbNIILH, 2013. P. 36–43. (In Russ.)

Reiner M. C., Nelson-Jones V. The role of mycorrhizae in the nutrition of trees. Moscow : Foreign literature, 1949. 236 p.

Results of using seedlings with a closed root system during artificial reforestation in the Baikal mountain forest region / A. N. Gladinov, E. V. Konovalova, E. B. Olzoeva, S. C. Sodboeva // Bulletin of the Belarusian Agricultural Academy. 2023. № 4. P. 97–105. (In Russ.)

Rhizospheric bacteria / N. V. Feoktistova, A. M. Mardanova [et al.] // Scientific notes of Kazan University. The Natural Sciences series, Kazan. 2016. Vol. 158. Book 2. P. 207–224. (In Russ.)

- Rogozin M. V., Golikov A.M., Komarov S. A. Right and left forms of spruce in the progeny of positive trees in the Perm region // Bulletin of Perm University. 2012. № 2. P. 9–12. (In Russ.)
- Russian and world experience in growing planting material with a closed root system / E. V. Avdeeva, N. L. Rovnykh, D. V. Ivanov [et al.] // Coniferous forests. 2022. Vol. XL, № 4. P. 250–258. (In Russ.)
- Shubin V. I. Mycotrophy of tree species, its importance in forest management in the taiga zone. Leningrad : Science, 1973. 264 p.
- Smirnov A. I., Orlov F. S., Aksenov P. A. The effect of a low-frequency electromagnetic field on laboratory seed germination and seed yield of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // Lesnoy Vestnik. 2021. Vol. 25. № 4. P. 21–26. (In Russ.)
- Sorokin S. N. Russian forestry: needs and ways of development // Stolyarov readings : Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of Academician D. P. Stolyarov. St. Petersburg : SPbNIILH, 2023. P. 67–72. (In Russ.)
- Sorokin S. N. Technologies of reforestation and afforestation: yesterday and today // Innovations and technologies in forestry Proceedings of the All-Russian Scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry, May 16–17, 2024, St. Petersburg. St. Petersburg : SPbNIILH, 2024. P. 322–335. (In Russ.)
- Sorokin S. N., Nedbaev I. S. Problems and prospects of wastewater sludge utilization and reclamation of disturbed lands in the North-West of Russia and ways to solve them jointly // Bulletin of the Udmurt University. Biology series. Earth science. 2023. Vol. 33. Issue 1. P. 58–71. (In Russ.)
- Syrchina N. V., Terentyev Yu. N., Melnikova A. N. The use of sunflower ash for the production of complex organomineral fertilizers and potassium monophosphate // Ecology of the native land : problems and solutions : Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical conference with international participation (April 28–29, 2016). Kirov : Raduga-PRESS LLC, 2016. Book 2. P. 32–34. (In Russ.)
- Seed germination and biometric parameters of seedlings on substrates from solid waste from the pulp and paper industry / D. N. Tebenkova, N. V. Lukina, R. A. Vorobyov, M. A. Orlova // Lesovedenie. 2014. № 6. P. 31–40. (In Russ.)
- The development of forest cultures of Scots pine, created by planting materials from closed and open root systems in various conditions of the Republic of Tatarstan / V. V. Sakhnov, A. P. Prokopyev, I. R. Galiullin, S. G. Glushko // Forest Bulletin. 2023. Vol. 27, № 2. P. 38–48. (In Russ.)
- The effectiveness of using mycorrhiza and polymer materials in growing pine seedlings in arid conditions / S. N. Kryuchkov, A. V. Vdovenko, A. V. Zarubina, S. A. Egorov // Scientific and Agronomic Journal. 2021. № 2. P. 34–38. (In Russ.)
- The influence of pulp and paper mill waste in substrates on the development of the root system of European spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) when grown in hydroponic plants // E. S. Sorokin, E. A. Belyaeva, E. A. Henry [et al.] // Natural and Technical Sciences. 2024. № 2. P. 122–126. (In Russ.)
- The influence of sawdust-soil substrates on the growth of pine and spruce seedlings in the nursery of the experimental farm “Pogorelsky Bor” / G. I. Antonov, A. P. Barchenkov, N. V. Pashenova, O. E. Kondakova // Forestry. 2021. № 3. P. 303–317. (In Russ.)
- The use of synthetic films in forestry / edited by A. D. Bukshtykov. Moscow : Forest Industry, 1969. 176 p.
- Tsareva R. I. Chemistry of peat soil. Minsk : Science and Technology, 1976. 192 p.
- Tyukavina O. N., Demina N. A. Biologically active preparations for stimulating the growth of coniferous seedlings // Vestnik BGSKH. 2023. № 1. P. 122–133. (In Russ.)
- Tyukavina O. N., Demina N. A. The practice of improving the sowing qualities of common pine (*Pinus sylvestris* L.) and European spruce (*Picea abies* L.) seeds // Lesnoy Vestnik. 2022. Vol. 26, № 6. P. 75–91. (In Russ.)

- Zaika I. B., Andreeva K. N. The influence of the composition of mulching material and seeding depth on the growth of annual containerized seedlings in summer greenhouses // Collection of scientific papers of the Leningrad Institute of Agriculture. 1992. P. 37–42. (In Russ.)
- Zaitseva M. I. Features of the use of birch felling residues in the cultivation of seedlings of Scots pine // Proceedings of the Faculty of Forestry Engineering of PetrSU. 2010. № 8. P. 53–56. (In Russ.)
- Zakharov A. B., Vorobyov R. A., Mishanova M. I. Application of biologically active drugs in the pre-sowing treatment of European spruce seeds // Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2023. № 4. P. 36–45. (In Russ.)
- Zhigunov A. V. Theory and practice of growing planting materials with a closed root system. St. Petersburg : SPbNIILH, 2000. 293 p.

Информация об авторах

C. H. Сорокин – начальник научно-исследовательского отдела лесовосстановления и лесоразведения, кандидат биологических наук;
A. A. Степченко – заместитель директора, кандидат географических наук;
A. B. Клименок – научный сотрудник научно-исследовательского отдела лесовосстановления и лесоразведения.

Information about the authors

S. N. Sorokin – Head of the Scientific Research Department of Reforestation and Afforestation, Candidate of Biological Sciences;
A. A. Stepchenko – Deputy Director, Candidate of Geographical Sciences;
A.V. Klimenok – Researcher at the Scientific Research Department of Reforestation and Afforestation.

Статья поступила в редакцию 27.06.2025; принята к публикации 30.07.2024.
The article was submitted 27.06.2025; accepted for publication 30.07.2024.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 117–126.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 117–126.

Научная статья

УДК : 630*232.33.

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.011

ПОДГОТОВКА ПОЧВЫ ПОД ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ В ЗАПАДНО-СИБИРСКОМ ПОДТАЕЖНО-ЛЕСОСТЕПНОМ РАЙОНЕ

Алексей Евгеньевич Осипенко¹, Артем Сергеевич Попов²,
Сергей Вениаминович Залесов³, Альфия Гаптрауфовна Магасумова⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ Osipenkoae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>

² PopovAS@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3060-9461>

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

⁴ Magasumovaag@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1727-2008>

Аннотация. Описан полосной способ подготовки почвы под лесные культуры в условиях разнотравного и осоково-злакового типов леса Западно-Сибирского подтаежно-лесостепного района лесостепной зоны Тюменской области. Установлено, что снятие дернины толщиной 15–20 см в полосах шириной 3,5–6,0 м обеспечивает условия создания лесных культур как вручную, так и механизированным способами, исключает необходимость агротехнических уходов в первые годы после посадки. Ветровальная древесина, перемешанная с дерниной, в валах между минерализованными полосами быстро разлагается, обогащая почву питательными элементами. Подготовку минерализованных полос можно выполнять экскаватором либо агрегатируемым трактором ДТ-75 клином, который раздвигает и собирает в валы ветровальную древесину, а также дернину, минерализуя поверхность почвы. Приживаемость лесных культур, созданных посадкой сеянцев как с открытой, так и с закрытой корневой системой, выше в разнотравном типе леса по сравнению с таковой в осоково-злаковом. Одной из причин гибели сеянцев является вымокание, поскольку на серых лесных почвах суглинистого механического состава в весенний и осенний период задерживается вода по причине слабой водопроницаемости. Есть все основания полагать, что полосной способ подготовки почвы со снятием дернины толщиной 15–20 см в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе может быть внедрен в производство. Однако необходимо продолжение исследований по оценке эффективности указанного способа.

Ключевые слова: лесостепная зона, искусственное лесовосстановление, лесные культуры, подготовка почвы, полосный способ, снятие дернины

Для цитирования: Подготовка почвы под лесные культуры в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе / А. Е. Осипенко, А. С. Попов, С. В. Залесов, А. Г. Магасумова // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 117–126.

Original article

PREPARATION OF SOIL FOR FOREST CROPS IN THE WEST SIBERIAN SUBTAIGA-FOREST-STEPPE REGION

Alexey E. Osipenko¹, Artem S. Popov², Sergey V. Zalesov³, Alfiya G. Magasumova⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ oSipenkoae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3359-3079>

² popovas@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3060-9461>

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

⁴ magasumovaag@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1727-2008>

Abstract. A band pass method of preparing the soil for forest crops in the conditions of mixed-grass and sedge-grass forest types of the West Siberian subtaiga forest-steppe region of the forest-steppe zone of the Tyumen region is described. It has been established that the removing 15–20 cm thick sod in belts 3,5–6,0 m wide provides the conditions for creating forest crops both manually and mechanized methods, excludes the need for agricultural care in the first years after planting. Windwood mixed with sod, in the shafts between mineralized belts, quickly decomposes, enriching the soil with nutrients. The preparation of mineralized belts can be performed by an excavator or a tractor DT-75 aggregated with a wedge, which moves apart and collects windwood as well as sod into shafts, mineralizing the soil surface. The survival rate of forest crops created by planting seedlings with both open and closed root systems is higher in the mixed-grass forest typed compared to sedge-grass forest type. One of the reasons for the death of seedlings is drowning, since water is retained on gray forest soils of loamy mechanical composition in the spring and autumn due to low water permeability. There is every reason to believe that the band pass method of soil preparation with the removal of 15–20 cm thick sod in the West Siberian subtaiga-forest-steppe region can be embedded in production. However, it is necessary to continue researcher on assessing the effectiveness of this method.

Keywords: forest-steppe zone, artificial forestry, forest crops, soil preparation, band pass method, sod removal

For citation: Preparation of soil for forest crops in the West Siberian subtaiga-forest-steppe region / A. E. Osipenko, A. S. Popov, S. V. Zalesov, A. G. Magasumova // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 117–126.

Введение

Известно (Залесов, 2020), что в таежной зоне обеспечение оптимальной лесистости может быть реализовано совершенствованием рубок спелых и перестойных насаждений. Последнее позволяет при правильном выборе способа рубок и соблюдении технологии лесосечных работ заменить спелые и перестойные насаждения молодняками за счет формирования подроста предварительной генерации и последующего его сохранения в процессе проведения лесосечных работ (Казанцев и др., 2006; Рубки обновления..., 2007; Оплетаев, Залесов, 2014).

Картина резко меняется в лесостепной зоне, где потенциальные возможности естественного лесовосстановления резко снижаются, и обеспечить увеличение площади покрытых лесной растительностью земель можно, лишь применяя способ искусственного лесовосстановления (Фрейберг и др., 2012; Производительность..., 2014; Искусственное лесоразведение..., 2014; Новоселова и др., 2016; Опыт создания..., 2017; Воспроизводство и омоложение..., 2023; Крекова и др., 2024).

Основная сложность лесовосстановления заключается в высокой конкуренции травяного покрова, который в условиях лесостепной зоны при

достаточном освещении формирует плотную дернину, что исключает попадание семян древесных видов на минеральную часть почвы. Кроме того, даже при появлении всходов древесных растений последние чаще всего гибнут, не выдерживая конкуренции с живым напочвенным покровом (ЖНП) за свет, влагу и минеральные элементы.

Осенью отмирающий травостой накрывает всходы и мелкий подрост и, перегнивая, приводит последний к гибели. Особо следует отметить, что, высыхая, трава осенью и весной после схода снега резко увеличивает потенциальную пожарную опасность, что также сдерживает накопление подроста, а следовательно, и лесовосстановление (Залесов, Миронов, 2004; Новый способ..., 2014; Архипов, Залесов, 2017; Залесов, 2021).

Имеющийся опыт по лесовосстановлению и лесоразведению в степной и лесостепной зонах свидетельствует о необходимости снятия конкуренции ЖНП при создании лесных культур. Последнее заключается в совершенствовании способов подготовки почвы. В частности, в степной зоне рекомендуется, как правило, сплошная подготовка почвы по системе черного пара (Рекомендации..., 2001). В то же время данный способ не приемлем в рединах, поскольку требует уборки всех деревьев и корчевки пней, что очень трудозатратно. Доминирующий в настоящее время способ подготовки почвы под лесные культуры путем прокладки минерализованных полос плугом ПКЛ-70 в абсолютном большинстве случаев в лесостепной зоне не дает должного эффекта, поскольку узкие борозды уже в первые два года зарастают травянистой растительностью, что, несмотря на агротехнические уходы, приводит к гибели сеянцев (Рекомендации..., 2001; Динамика..., 2008).

Указанное свидетельствует о несомненной актуальности поиска новых или совершенствования существующих способов подготовки почвы в травяных типах леса.

Цель, объекты и методика исследований

Цель работы – анализ эффективности подготовки почвы под лесные культуры в Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе пу-

тем удаления слоя дернины и перемещения ее в валы.

Объектами исследований служили лесные культуры, заложенные на четырех участках в урочище «Аромашевское СП» Аромашевского участкового лесничества Аромашевского лесничества Тюменской области. Согласно действующему районированию (Об утверждении..., 2014), территория указанного лесничества относится к Западно-Сибирскому подтаежно-лесостепному лесному району. Два участка площадью 20,98 и 13,23 га были расположены в выделе 17 квартала 386, третий участок площадью 6,7 га располагался в выделе 13 квартала 386, а четвертый площадью 74,65 га – в выделе 6 квартала 387 указанного лесничества.

До подготовки почвы под лесные культуры первый участок представлял собой редину с редко стоящими березами, ранее пройденную лесным пожаром. Последнее подтверждается наличием нагара на стволах сохранивших жизнеспособность деревьев и валежной древесины на поверхности почвы.

Перед началом лесокультурных работ была выполнена предварительная расчистка лесокультурной площади трактором ДТ-75, оборудованным клином, с помощью которого валежная древесина раздвигалась в валы по сторонам расчищаемых полос. Среднее расстояние между центрами полос – 5 м.

После расчистки полос производилась подготовка почвы экскаватором. При этом снимался слой дернины толщиной 15–20 см в полосах шириной 4,0 м. Снятая дернина размещалась на сконцентрированной валежной древесине в сформированных ранее валах. Ширина валов при этом составляла 1,5–2,0 м при высоте от 0,15 до 1,0 м (рис. 1).

Перемешивание валежной древесины с дерниной и верхним слоем почвы способствует быстрой деструкции древесины и снижению высоты валов.

На участке № 2 подготовка почвы производилась способом, аналогичным таковому на участке № 1, с расстоянием между центрами расчищаемых полос 4,3 м (рис. 2).



Рис. 1. Подготовка почвы под лесные культуры на участке № 1
Fig. 1. Preparation of soil for forest crops at site № 1



Рис. 2. Внешний вид подготовки почвы на участке № 2
Fig. 2. The appearance of soil preparation at site № 2

Отличительной особенностью подготовки почвы на участке № 2 являлось то, что сформированные валы имели ширину 2,0–2,2 м при варьировании высоты от 0,3 до 0,6 м при среднем значении $0,45 \pm 0,07$ м.

Аналогично предыдущим участкам производилась расчистка полос на участке № 3. Однако в отличие от участков № 1 и 2 при подготовке почвы экскаватор не использовался, а снятие дернины производилось клином, прикрепленным на трактор ДТ-75, одновременно с расчисткой площади от валежной древесины (рис. 3).

Исследования показали, что на участке № 3 средний слой дернины составлял 15–20 см при ширине сформированных валов 0,9–1,2 м и высоте от 0,3 до 0,5 м и средней высоте $0,4 \pm 0,02$ м.

На участке № 4 трактором, оборудованным клином, расчищали полосы с расстоянием между центрами 8 м. При этом, как и в предыдущих случаях, на участках № 1 и 2 экскаватором снимался слой дернины толщиной 15–20 см. Однако из-за большей ширины расчищаемых полос –

5,5–6,0 м – увеличились до 2,5–3,0 м ширина валов и до 0,3–1,5 м их высота.

На всех четырех участках были выполнены обмеры сформированных в процессе подготовки почвы валов и минерализованных полос, а также проведен учет приживаемости созданных лесных культур в соответствии с нормативными документами и апробированными методическими рекомендациями (Огиевский, Хиров, 1964; Основы..., 2020; Об утверждении..., 2021; Данчева и др., 2023).

Дополнительно была описана почва на предмет степени минерализации и сохранения верхнего плодородного слоя.

Результаты и их обсуждение

На участке № 1 в июле 2024 г. были созданы лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) 1-летними сеянцами с закрытой корневой системой (ЗКС). Посадка производилась вручную под меч Колесова, адаптированный под посадку сеянцев с ЗКС. В каждой расчищенной полосе создавалось два ряда лесных культур



Рис. 3. Внешний вид участка № 3 при подготовке почвы с использованием клина
Fig. 3. The appearance of site № 3 during soil preparation using a wedge

с расстоянием между ними 1,5–2,0 м и шагом посадки 1,25 м.

Таким образом, густота посадки составляла 3,2 тыс. шт./га. Обследование, выполненное в апреле 2025 г., показало, что приживаемость сеянцев составляла 87,3 %. Основной причиной гибели сеянцев являлось вымокание.

На участке № 2 в конце мая – начале июня была произведена посадка 3–4-летних сеянцев ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) с открытой корневой системой (ОКС). При этом в каждой минерализованной полосе создавался 1 ряд лесных культур. Ширина между рядами составляла 4,3 м, шаг посадки – 0,43 м, а густота – 5,4 тыс. шт./га.

При обследовании лесных культур 7 апреля 2025 г. было установлено, что приживаемость лесных культур составляет 4467 шт./га, или 82,7 %. Другими словами, отпад сеянцев составляет 17,3 %, что вызывает необходимость дополнения лесных культур. Общее представление о лесных

культурах ели сибирской позволяет получить рис. 4.

На участке № 3 весной 2023 г. была предпринята попытка посадки 3–4-летних сеянцев ели сибирской в дно плужных борозд, проложенных плугом ПКЛ-70. Однако из-за высокой конкуренции со стороны осок и злаков высаженные сеянцы погибли, и данный опыт признан неудачным. Указанное объясняет необходимость полосной подготовки почвы.

В мае-июне 2024 г. на участке № 3 в подготовленные ранее описанным способом полосы были высажены 3–4-летние сеянцы ели сибирской с ОКС. Ширина между рядами – 4,5 м, шаг посадки – 0,54 м, густота посадки – 4,1 тыс. шт./га. Посадка производилась вручную под меч Колесова.

Обследование, выполненное в апреле 2025 г., показало, что приживаемость сеянцев составила 1250 шт./га, или 30,5 %. Основной причиной отпада сеянцев является вымокание на пониженных участках, а также повышенная по сравнению с другими участками засоленность почвы.

На участке № 4 лесные культуры были созданы посадкой в августе 2024 г. 1-летних сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС. Посадка производилась вручную под меч Колесова, адаптированный под посадку сеянцев с ЗКС. В каждой шестиметровой минерализованной полосе создано по два ряда культур с расстоянием между рядами 3,0–4,0 м. Шаг посадки – 0,76 м при густоте 3,1 тыс. шт./га.

Исследования, проведенные в апреле 2025 г., показали, что за период после посадки густота культур сократилась до 1098 шт./га. Другими словами, приживаемость лесных культур, созданных однолетними сеянцами с ЗКС, составила 35,4 %. Указанные лесные культуры требуют проведения дополнения, в противном случае полноценное сосновое насаждение на участке № 4 сформировано быть не может из-за низкой густоты жизнеспособных сеянцев.

Результаты проведенного натурного обследования свидетельствуют о том, что ни на одном из четырех участков не было обнаружено снятия плодородного почвенного слоя. Другими словами, сеянцы высажены в плодородный слой почвы.



Рис. 4. Внешний вид лесных культур ели на участке № 2

Fig. 4. The appearance of spruce forest crops on site № 2

При этом снятие дернины и размещение ее в валах не только ускоряет процесс деструкции валежной древесины, но и замедляет разрастание травянистой растительности на минерализованных полосах. Так, на всех четырех участках при отсутствии агротехнических уходов угнетения сеянцев не наблюдается.

Обследованные участки относятся к разнотравному и осоково-злаковому типам леса. Редины указанных типов леса характеризуются значительной подземной фитомассой живого напочвенного покрова, представленного прежде всего злаковой и осоковой растительностью. Корни осок и злаков проникают на глубину 30–40 см. Однако основная масса корней расположена на глубине до 20 см, и поэтому при описанном ранее способе подготовки почвы мы удаляем основную массу корней, что препятствует зарастанию ЖНП минерализованных полос. В то же время если участки № 1 и 2 относятся к разнотравному, то участки № 3 и 4 – к осоково-злаковому типам леса, где условия произрастания хуже. Последнее в определенной степени объясняет более низкую приживаемость лесных культур на участках № 3 и 4.

Замеры мощности дернины в березняке осоково-злаковом показали, что она составляет в среднем $14,9 \pm 0,19$ см. Естественно, что при такой мощности дернины плуг ПКЛ-70 не формирует минерализованную полосу, обеспечивающую снятие конкуренции сеянцам со стороны ЖНП.

На обследованных участках преобладают серые лесные почвы с разной степенью осоложенности. Известно, что серые лесные почвы формируются в южной части лесной зоны и в лесостепи под травянистыми мелколиственными лесами в Сибири на глинистых и суглинистых отложениях различного генезиса (Национальный атлас..., 2025).

Гумусовый горизонт указанных почв имеет мощность до 50 см, а следовательно, удаление верхнего слоя (дернины) на глубину 15–20 см не создает негативных последствий для высаживаемых сеянцев. При этом резко сокращаются расходы на создание и выращивание лесных культур из-за исключения агротехнических уходов.

Выводы

1. В условиях лесостепной зоны Тюменской области подготовка почвы под лесные культуры в разнотравных и осоково-злаковых типах леса плугом ПКЛ-70 не обеспечивает сохранность высаживаемых сеянцев.

2. Эффективной оказалась подготовка почвы экскаватором, при которой снимается дернина на глубину до 15–20 см и размещается в валы. При этом ширина минерализованных полос варьируется от 4 до 6 м.

3. Экскаватор при снятии дернины можно заменить клином, агрегатируемым с трактором ДТ-75, который будет освобождать лесокультурную площадь от валежной древесины и одновременно готовить минерализованную полосу шириной 3,0–3,2 м.

4. Валы из ветровальной древесины, перемешанной с дерниной, не представляют пожарной опасности и характеризуются быстрой деструкцией древесины.

5. Поскольку снятие дернины не ухудшает существенно плодородие почвы, данный полосной способ ее подготовки может быть рекомендован производству.

6. Полосная подготовка почвы исключает необходимость агротехнических уходов в первые годы после создания лесных культур, что снижает себестоимость их выращивания.

Список источников

- Архипов Е. В., Залесов С. В. Динамика лесных пожаров в Республике Казахстан и их экологические последствия // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4 (158). С. 10–15.
- Воспроизводство и омоложение ленточных боров Алтайского края / С. В. Залесов, А. Е. Осипенко, А. Ю. Толстиков [и др.]. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 360 с.
- Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 146 с.

- Динамика напочвенного покрова в Джабык-Карагайском бору / *Н. А. Луганский, С. В. Залесов, Л. И. Аткина* [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. 111 с.
- Залесов С. В. Лесная пирология. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2021. 396 с.
- Залесов С. В. Лесоводство. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
- Залесов С. В., Миронов М. П. Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург : УГЛТУ, 2004. 138 с.
- Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны / *С. В. Залесов, Б. О. Азбаев, А. В. Данчева* [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. URL: www.science-education.ru/118-13438. (дата обращения: 25.06.2025).
- Казанцев С. Г., Залесов С. В., Залесов А. С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. 156 с.
- Крекова Я. А., Панкратов В. В., Залесов С. В. Эффективность лесоразведения с использованием интродуцентов в санитарно-защитной зоне г. Астаны // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2 (78). С. 66–72. DOI: 10.48012/1817-5457_2024_2_66-72
- Национальный атлас почв Российской Федерации. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas> (дата обращения: 25.06.2025).
- Новоселова Н. Н., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. Екатеринбург : УГЛТУ, 2016. 106 с.
- Новый способ создания заградительных и опорных противопожарных полос / *С. В. Залесов, Г. А. Годолов, А. А. Кректунов* [и др.] // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 3 (31). С. 90–95.
- Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации : утв. приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения: 25.06.2025).
- Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления : утв. приказом Минприроды России от 29.12.2021 г. № 1024. URL: <https://base.garant.ru/403517664/> (дата обращения: 25.06.2025).
- Огневский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур : метод. пособие для лесоводов. М. : Лесн. пром-сть, 1964. 51 с.
- Оплетаев А. С., Залесов С. В. Переформирование производных мягколиственных насаждений в лиственничники на Южном Урале. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 178 с.
- Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности / *С. В. Залесов, О. В. Толкач, И. А. Фрейберг* [и др.] // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21, № 9. С. 42–47.
- Основы фитомониторинга / *Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. С. Залесова* [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
- Производительность искусственных березовых насаждений в зеленой зоне города Астаны / *С. В. Залесов, Л. А. Белов, Данчева А. В.* [и др.] // Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана. 2014. № 9. С. 53–60.
- Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале / *В. Н. Данилик, Р. П. Исаева, Г. Г. Терехов* [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2001. 117 с.
- Рубки обновления и переформирования в лесах Урала / *Л. П. Абрамова, С. В. Залесов, С. Г. Казанцев* [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. 264 с.
- Фрейберг И. А., Залесов С. В., Толкач О. В. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. 121 с.

References

- A new way to create protective and supporting fire protection strips / *S. V. Zalesov, G. A. Godovalov, A. A. Krektunov* [et al.] // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2014. № 3 (31). P. 90–95. (In Russ.)
- Arkhipov E. V., Zalesov S. V.* Dynamics of forest fires in the Republic of Kazakhstan and their environmental consequences // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. № 4 (158). P. 10–15. (In Russ.)
- Artificial afforestation around Astana / *S. V. Zalesov, B. O. Azbaev, A. V. Dancheva* [et al.] // Modern problems of science and education. 2014. № 4. URL: www.science-education.ru/118-13438 (accessed 25.06.2025).
- Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S.* Forest ecological monitoring. Yekaterinburg : UGLTU, 2023. 146 p.
- Dynamics of ground cover in the Jabyk-Karagai forest / *N. A. Lugansky, S. V. Zalesov, L. I. Atkina* [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2008. 111 p.
- Felling of renewal and reformation in the forests of the Urals / *L. P. Abramova, S. V. Zalesov, S. G. Kazantsev* [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2007. 264 p.
- Freiberg I. A., Zalesov S. V., Tolkach O. V.* The experience of creating artificial plantings in the forest-steppe of the Trans-Urals. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2012. 121 p.
- Fundamentals of phytomonitoring / *N. P. Bunkova, S. V. Zalesov, E. S. Zalesova* [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 90 p.
- Kazantsev S. G., Zalesov S. V., Zalesov A. S.* Optimization of forest use in derived birch forests of the Middle Urals. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2006. 156 p.
- Krekova Ya. A., Pankratov V. V., Zalesov S. V.* The effectiveness of forest management using introduced species in the sanitary protection zone of Astana // Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2024. № 2 (78). P. 66–72. DOI: 10.48012/1817-5457_2024_2_66-72 (In Russ.)
- National Soil Atlas of the Russian Federation. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas> (accessed 25.06.2025).
- Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G.* Formation of vegetation in former agricultural lands in spring. Yekaterinburg : UGLTU, 2016. 106 p.
- Ogievsky V. V., Hirov A. A.* Survey and research of forest crops (a methodological guide for foresters). Moscow : Forest Industry, 1964. 51 p.
- On approval of the List of Forest-growing Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation : Approved by the Government of the Russian Federation. By Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 18.08.2014 № 367. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (accessed 25.06.2025).
- On approval of the Rules of reforestation, the form, composition, order of approval of the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form of the reforestation project: Approved by By Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated December 29, 2021, № 1024. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (accessed 25.06.2025).
- Opletaev A. S., Zalesov S. V.* Transformation of soft-deciduous plantings into larch forests in the Southern Urals. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2014. 178 p.
- Productivity of artificial birch plantations in the green zone of Astana / *S. V. Zalesov, L. A. Belov, A. V. Dancheva* [et al.] // Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan. 2014. № 9. P. 53–60. (In Russ.)
- Recommendations on reforestation and afforestation in the Urals / *V. N. Danilik, R. P. Isaeva, G. G. Terekhov* [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2001. 117 p.
- Reproduction and rejuvenation of tapeworms of the Altai Territory / *S. V. Zalesov, A. E. Osipenko, A. Y. Tolstikov* [et al.]. Yekaterinburg : UGLTU, 2023. 360 p.
- The experience of creating forest crops on salt marshes of good forest use / *S. V. Zalesov, O. V. Tolkach, I. A. Freiberg* [et al.] // Ecology and Industry of Russia. 2017. Vol. 21, № 9. P. 42–47. (In Russ.)

Zalesov S. V. Forest pyrology. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2021. 396 p.

Zalesov S. V. Forestry. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. 295 p.

Zalesov S. V., Mironov M. P. Detection and extinguishing of forest fires. Yekaterinburg : UGLTU, 2004. 138 p.

Информация об авторах

A. E. Осипенко – кандидат сельскохозяйственных наук;

A. C. Попов – кандидат сельскохозяйственных наук;

C. B. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

A. Г. Магасумова – кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

A. E. Osipenko – Candidate of Agricultural Sciences;

A. S. Popov – Candidate of Agricultural Sciences;

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

A. G. Magasumova – Candidate of Agricultural Sciences.

Статья поступила в редакцию 02.07.2025; принята к публикации 10.08.2025.

The article was submitted 02.07.2025; accepted for publication 10.08.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 127–138.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 127–138.

Научная статья

УДК 630.625

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.012

СОБЛЮДЕНИЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЛЕСНЫХ ОТНОШЕНИЙ. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

Олеся Николаевна Белоусова¹, Андрей Евгеньевич Морозов²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ orles85@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0006-2689-6812>

² MorozovAE@m.usfeu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2373-1151>

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы соблюдения обязательных требований в области лесных отношений на примере отдельно взятого лесничества. Подчеркивается важная роль профилактических мероприятий, направленных на предотвращение нарушений обязательных требований участниками лесных отношений. На основе проведенного анализа ситуации авторами предлагаются направления повышения эффективности соблюдения обязательных требований в области лесных отношений. Это увеличение транспортной доступности территории лесного фонда, актуализация проектов противопожарного обустройства лесов, реконструкция и приведение в соответствие с нормами безопасности пожарных наблюдательных пунктов, увеличение штата лесной охраны и расходов на содержание патрульного автотранспорта, внесение изменений в федеральное и региональное законодательство в части регулирования отпуска деловой древесины населению на собственные нужды, внедрение риск-ориентированного подхода при планировании наземного маршрутного патрулирования лесов, развитие системы дистанционного мониторинга лесов с использованием спутниковой съемки и беспилотных авиационных систем.

Ключевые слова: проблемы соблюдения обязательных требований в области лесных отношений, незаконная рубка, наземное маршрутное патрулирование лесов, предотвращение нарушений обязательных требований в области лесных отношений, минимизация риска нарушения обязательных требований в области лесных отношений

Для цитирования: Белоусова О. Н., Морозов А. Е. Соблюдение обязательных требований в области лесных отношений. Проблемы и пути повышения эффективности на примере отдельного лесничества // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 127–138.

Original article

COMPLIANCE WITH MANDATORY REQUIREMENTS IN THE FIELD OF FOREST RELATIONS. PROBLEMS AND WAYS TO IMPROVE EFFICIENCY ON THE EXAMPLE OF A SEPARATE FORESTRY

Olesya N. Belousova¹, Andrey E. Morozov²

^{1, 2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ orles85@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0006-2689-6812>

² MorozovAE@m.usfeu.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2373-1151>

Abstract. The article considers the problems of compliance with mandatory requirements in the field of forest relations using the example of a single forestry. The important role of preventive measures aimed at preventing violations of mandatory requirements by participants in forest relations is emphasized. The directions for improving the efficiency of compliance with mandatory requirements, as well as forest protection, proposed by the authors based on the analysis of the situation, include increasing the transport accessibility of the forest fund territory, updating forest fire protection projects, reconstructing and bringing fire observation posts into compliance with safety standards, increasing the staff of forest protection and the costs of maintaining patrol vehicles, amending federal and regional legislation in terms of regulating the release of commodity wood to the population for their own needs, introducing a risk-oriented approach to planning ground-based route patrolling of forests, developing a system of remote monitoring of forests using satellite imagery and unmanned aerial systems.

Keywords: problems of compliance with mandatory requirements in the field of forest relations, illegal cutting, ground route patrolling of forests, prevention of violations of mandatory requirements in the field of forest relations, minimization of the risk of violation of mandatory requirements in the field of forest relations

For citation: Belousova O. N., Morozov A. E. Compliance with mandatory requirements in the field of forest relations. Problems and ways to improve efficiency on the example of a separate forestry // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 127–138.

Введение

Одним из главных направлений обеспечения сохранения лесов является профилактика и предотвращение правонарушений в области лесных отношений. Эффективность профилактики подчеркивалась нами ранее (Федорова, Морозов, 2024). Объем ущерба, наносимого лесным ресурсам Российской Федерации в результате правонарушений, занимает четвертое место после ущерба, наносимого лесными пожарами, вредными организмами и неблагоприятными погодными условиями. При этом неотъемлемым условием надлежащего правового поведения субъектов лесных отношений является соблюдение ими обязательных требований, содержащихся в нормативно-правовых актах, регулирующих лесные

отношения. В соответствии с Федеральным законом от 31.07.2020 г. № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации» оценка соблюдения обязательных требований осуществляется «в рамках государственного контроля (надзора), муниципального контроля, привлечения к административной ответственности, представления лицензий и иных разрешений, аккредитации, оценки соответствия продукции, иных форм оценки и экспертизы».

В условиях современной экономики необходимо разработать комплексную стратегию по предотвращению нарушений обязательных требований участниками лесных отношений, используя оптимальные управленческие решения и экологически безопасные технологии. Меры, предусмотренные

комплексной стратегией, должны быть основаны на дифференцированном риск-ориентированном подходе к организации контрольно-надзорной деятельности и распределению ресурсов.

Целью исследования явился анализ соблюдения обязательных требований участниками лесных отношений, эффективности осуществления контроля в указанной сфере на примере отдельного лесничества. В качестве объекта исследования для примера была выбрана территория Октябрьского лесничества, расположенного в южной части Пермского края. В соответствии с приказом Минприроды России от 18.08.2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» территория лесничества находится в районе хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации зоны хвойно-широколиственных лесов.

В процессе исследования был разработан комплексный план мероприятий по совершенствованию системы профилактики нарушений на примере отдельного лесничества.

Результаты и их обсуждение

Деятельность по обеспечению соблюдения обязательных требований в области лесных отношений направлена на предотвращение правонарушений в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов.

Одним из важных направлений данной деятельности в сфере охраны лесов является предупреждение возникновения и распространения лесных пожаров. Как показывает практика, для эффективной охраны лесов от пожаров в первую очередь необходимо обеспечение их транспортной доступности. В настоящее время на землях лесного фонда Октябрьского лесничества эксплуатируется 8112 км дорог различных категорий. Средняя плотность дорожной сети составляет 2,2 км на 1000 га и варьирует от 1,7 до 3,6 км на 1000 га в разных частях лесничества. Абсолютное большинство транспортных путей на территории лесничества относится к автомобильным дорогам, из которых дороги с твердым покрытием имеют

протяженность 1754 км (21,6 % от общей протяженности дорог). Общая протяженность дорог, доступных только в зимний период года (зимников), составляет 3572 км (44,0 %), лесовозных дорог – 1765 км (21,7 %), лесохозяйственных дорог всех типов в совокупности – 4202 км (51,8 %). Преобладающим типом грунтовых дорог являются дороги общего назначения, на долю которых приходится 3220 км (39,7 %). Для своевременного и качественного выполнения мероприятий по охране лесов необходима обеспеченность дорогами круглогодичного действия, протяженность которых по территории лесничества 1754 км (21,6 %). В рамках реализации Лесного плана Пермского края (2018) планируется поэтапное увеличение плотности дорог с доведением среднего показателя по региону к окончанию срока действия плана до 3,7 км на 1000 га.

Территория Октябрьского лесничества расположается преимущественно в зоне наземной охраны лесов, на долю которой приходится 76,6 % площади земель лесного фонда. Большинство нарушений законодательства в сфере лесных отношений на территории лесничества выявляется при наземном патрулировании. Общая протяженность маршрутов патрулирования составила за период с 2020 по 2024 гг. в среднем 7 350 км и имеет тенденцию к увеличению. Так, уже за 2024 г. общая протяженность маршрутов – 29 166 км. На период 2025 г. установлено количество выездов 624, соответственно, протяженность маршрутов составит не менее 45 000 км в год. Таким образом, в динамике наблюдается существенное увеличение количества выездных проверочных мероприятий, проводимых сотрудниками лесной охраны (табл. 1).

Штатная численность сотрудников Октябрьского лесничества составляет 13 инспекторов лесной охраны, пять инженеров лесного хозяйства и один руководитель. Согласно статистике, на каждого инспектора лесной охраны за 2024 г. пришлось в среднем 23 выезда на патрулирование. На 2025 г. в связи с увеличением количества патрулирований до 624 выездов нагрузка на имеющийся инспекторский состав увеличится более чем в два раза и составит 48 выездов по 308 маршрутам.

Таблица I
Table I

Количество выездных мероприятий по патрулированию
территории Октябрьского лесничества
Number of off-site patrolling activities of the Oktyabrskoye forestry area

Год Year	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество мероприятий Number of events	276	252	346	340	308	624

Данная норма установлена в соответствии с требованиями приказа Минприроды России от 15.12.2021 г. № 955 и приказа Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края от 07.02.2025 г. № 30-01-02-125 «О внесении изменений в распределение годового количества патрулирований лесов по лесничествам на 2025 год, утвержденного приказом Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края от 13.12.2024 № 30-01-02-1386». Для обеспечения успешного выполнения поставленных задач необходимо увеличить штат сотрудников лесной охраны и бюджет на содержание патрульного автотранспорта соответственно в 2 раза.

Отдельного внимания требует контроль за соблюдением требований к содержанию объектов противопожарного обустройства лесов. В соответствии с действующим лесным законодательством к объектам противопожарного обустройства относятся:

- лесные дороги, предназначенные для охраны лесов от пожаров;
- просеки, в том числе противопожарные разрывы;
- противопожарные минерализованные полосы;
- пожарные водоемы и подъезды к источникам противопожарного водоснабжения;
- места отдыха;
- предупредительные плакаты (аншлаги, стенды);
- пункты наблюдения за лесом как специально созданные (железные), так и приспособленные (вышки сотовой связи);
- шлагбаумы.

Дороги противопожарного назначения на территории лесничества устроены в дополнение к имеющейся сети лесных дорог с целью обеспечить проезд пожарной техники к участкам, опасным в пожарном отношении, а также к местам забора воды для целей пожаротушения. Ширина существующих дорог противопожарного назначения составляет в среднем 4,5 м, общая протяженность – 3462 км. Значительная часть дорог противопожарного назначения была построена еще в советский период. Состояние до 20 % дорог противопожарного назначения в настоящее время оценивается как неудовлетворительное и требующее капитального ремонта.

Существующие противопожарные разрывы с соответствующими им параметрами (ширина разрыва, площадь блока в зависимости от высоты древостоя, целевого назначения лесов и категории их защитности и других особенностей) устроены по проектам противопожарного обустройства лесов, разработанным еще в конце 1960-х гг. Указанные проекты в настоящее время безусловно устарели. Необходимо разработать и утвердить новые, соответствующие современным требованиям проекты противопожарного обустройства лесов.

Особое внимание следует уделять пожарным пунктам наблюдения. Специально приспособленные пункты наблюдения за лесными пожарами обычно представляют собой типовые металлические конструкции высотой 28–32 м зачастую без специальных приспособлений для подъема наблюдателей, что не отвечает современными нормам безопасности. Проектная документация на данные пункты наблюдения, как правило, отсутствует. Указанные пункты нуждаются в модернизации

и приведении в соответствие с требованиями норм безопасности.

В последнее время для наблюдения за лесами часто используются вышки сотовой связи, оснащенные аппаратурой видеонаблюдения. Высота вышек сотовой связи обычно составляет 64–72 м. При этом обеспечивается радиус видеонаблюдения с каждой вышки в 10–15 км в зависимости от прозрачности атмосферы и освещенности местности. На сегодняшний день на территории Пермского края установлено порядка 250 камер видеонаблюдения и слежения за лесным фондом. Данная система видеонаблюдения охватывает все лесничества Пермского края и является существенным фактором раннего обнаружения лесных пожаров. Вместе с тем вышки сотовой связи размещаются преимущественно в границах населенных пунктов и отсутствуют в отдаленных от них местах, что не позволяет охватить системой видеонаблюдения всю территорию лесного фонда.

Риски нарушений обязательных требований в области лесных отношений гражданами усиливаются в зонах отдыха и относительно хорошей транспортной доступности земель лесного фонда. Так, на территории Октябрьского лесничества общая площадь рекреационных зон, посещаемых населением, составляет 3 тыс. га; общая площадь лесов, имеющих рекреационное и санитарно-оздоровительное значение, – 73 тыс. га, или 22,6 % от общей площади территории лесничества. Кроме того, в составе земель лесного фонда есть лесные участки, вышедшие из-под сельскохозяйственных пользований, с достаточно густой сетью дорог и расположенные, как правило, вблизи населенных пунктов. На этих участках наблюдается один из самых высоких рисков возникновения лесных пожаров.

В целях ограничения доступа в лес в пожароопасный период используются шлагбаумы, которые обычно устанавливают в местах массового отдыха населения, сбора ягод и грибов. Вместе с тем количество шлагбаумов зачастую недостаточно. Так, на территории Октябрьского лесничества, имеющего площадь более 360 тыс. га, установлено 8 шлагбаумов.

В целях организации рекреации места отдыха населения оборудуются специальными указателя-

ми, установленными вдоль лесных дорог и троп. Согласно «Рекомендациям по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб», утвержденных Рослесхозом 17.11.1997 г., устройство мест отдыха заключается в расчистке площадки от кустарника, устройства ямы для мусора, организации кострища и создании вокруг площадки противопожарной минерализованной полосы. Типовое место отдыха обычно включает в себя установку двух скамеек на 4–6 посадочных мест, стола и навеса над ними. Указанные требования к местам отдыха в настоящее время являются устаревшими. В состав работ по обустройству мест отдыха должна обязательно входить установка аншлагов с информацией о правилах пожарной безопасности в лесу.

Нарушения обязательных требований в области лесных отношений, квалифицируемые как уголовно наказуемые деяния, требуют особого внимания. Наиболее распространенными из их числа являются незаконная рубка (ст. 260 Уголовного кодекса Российской Федерации – далее УК РФ), уничтожение или повреждение лесных насаждений (ст. 261 УК РФ), нарушение правил охраны окружающей среды при производстве работ (ст. 246 УК РФ), кража (ст. 158 УК РФ). Согласно статистике, большая часть преступлений – это незаконная рубка лесных насаждений.

Следует отметить, что существенная часть нарушений обязательных требований влечет за собой причинение вреда лесам и иным природным объектам. На территории исследуемого нами лесничества на долю таких правонарушений приходится до 48 % (табл. 2).

Наибольшее количество правонарушений в сфере административного законодательства фиксируется в период с мая по сентябрь, что связано с ростом в этот период посещаемости лесов гражданами (физическими лицами).

Согласно данным статистики за период с 2020 по 2024 гг., на территории Октябрьского лесничества выявлено порядка 196 правонарушений, повлекших причинение материального вреда землям лесного фонда, лесным насаждениям и объектам инфраструктуры (в основном дорожной сети) на общую сумму 315 677 тыс. руб. (табл. 3).

Таблица 2
Table 2

Распределение количества нарушений обязательных требований на территории

Октябрьского лесничества за период 2020–2024 гг. по категориям

Distribution of the number of violations of mandatory requirements in the territory
of the Oktyabrskoye forestry for the period from 2020–2024 by category

Категории нарушений Categories of violations	Количество, шт. Quantity, pcs.	Доля, % Share, %
Нарушения, вследствие которых причинен вред лесам и находящимся в них природным объектам, за которые предусмотрена уголовная или административная ответственность совокупно с гражданско-правовой (имущественной) ответственностью, связанной с возмещением вреда Violations resulting in damage to forests and natural objects located in them, for which criminal or administrative liability is provided together with civil (property) liability associated with compensation for damage	196	48
Нарушение без причинения вреда лесам и находящимся в них природным объектам, за которые предусмотрена только административная ответственность Violation without causing harm to forests and natural objects located in them, for which only administrative liability is provided	211	52

Таблица 3
Table 3

Характеристика правонарушений на территории Октябрьского лесничества,

связанных с причинением вреда, за период 2020–2024 гг.

Characteristics of offenses in the territory of Oktyabrskoye forestry
associated with causing harm, for the period 2020–2024

Вид нарушения Type of violation	Кол-во, шт. Quantity, pcs.	Доля, % Share, %	Вред, тыс. руб. Damage, thousand rubles.
Незаконная рубка лесных насаждений Illegal cutting of forest plantations	126	64,3	37 671
Нарушение правил санитарной безопасности Violation of sanitary safety rules	22	11,2	284
Самовольное снятие, уничтожение или порча почв, нарушение правил охраны окружающей среды Unauthorized removal, destruction or damage of soils, violation of environmental protection rules	3	1,5	266
Незаконная рубка сухостойных деревьев Illegal cutting of dead trees	35	17,9	567
Ущерб дорожной сети, нарушение дорожного покрытия Damage to the road network, disruption of road surfaces	10	5,1	11 352
Всего Total	196	100	315 677

Большинство правонарушений при этом совершено физическими лицами не преднамеренно, а по причине незнания обязательных требований в области лесных отношений, что, как известно, не освобождает от ответственности.

В табл. 4 представлена информация по выявленным фактам незаконной рубки за период с 2020 по 2024 гг. с указанием размера ущерба. На практике выявить лицо, виновное в совершении незаконной рубки, не всегда возможно. В 25 % случаев

такие дела приостанавливаются на основании ст. 208 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации (далее – УПК РФ). Во многих случаях (до 90 %) дела о незаконной рубке прекращаются на основании ст. 28 УПК РФ в связи с деятельным раскаянием. В 30 % случаев уголовное преследование прекращается по ст. 28 УПК РФ в связи с добровольной компенсацией причиненного ущерба.

По способам выявления правонарушения за период с 2020 по 2024 гг. на территории лесничества распределяются следующим образом: наземное маршрутное патрулирование лесов – 63,6 %, осмотр лесосек в натуре – 17,7, ведомственный контроль – 10,2, рейды правоохранительных органов – 5,7, дистанционный мониторинг – 3,4 %.

Таким образом, ключевую роль при осуществлении контрольно-надзорных мероприятий с целью выявления нарушений обязательных требований на территории исследуемого лесничества выполняет патрулирование лесов. Дистанционный

мониторинг только начинает развиваться на данной территории. В перспективе ему должна отводиться ключевая роль.

Доля незаконных рубок, совершенных в границах арендуемых лесных участков, за рассматриваемый период варьирует от 7 до 23 %.

Распространенным правонарушением со стороны лесопользователей является нарушение ими сроков сдачи отчетности по использованию и сохранению лесов. Отчеты зачастую подаются своевременно, но при этом лесничество отказывает в их приеме с первого раза. Основные причины отказа – отсутствие электронной подписи на документах, а также указаний на местоположение лесосек либо на объемы выполненных работ.

На основании проведенного исследования разработан комплексный план мероприятий, направленных на минимизацию риска нарушения обязательных требований в области лесных отношений на территории конкретного лесничества (табл. 5).

Таблица 4
Table 4

Характеристика правонарушений в сфере лесных отношений с причинением вреда лесным насаждениям за период 2020–2024 гг.

Characteristics of violations in the field of forestry relations causing damage to forest plantations for the period 2020–2024

№ п.п. Item №	Показатель Indicator	Период Period				
		2020	2021	2022	2023	2024
1	Незаконная рубка, число случаев Illegal cutting, number of cases	35	45	13	15	18
2	В том числе на арендуемых лесных участках Including leased forest areas	3	3	3	3	3
3	Размер ущерба, тыс. руб. Amount of damage, thousand rubles	8144,5	4202,178	6324,58	4280,78	14719,025
4	Объем ущерба, м ³ Volume of damage, m ³	754,39	345,11	411,247	494,148	1369,399
5	Количество установленных нарушителей Number of identified violators	10	11	8	7	14

Таблица 5
Table 5

Комплексный план мероприятий, направленных на минимизацию риска нарушения обязательных требований в области лесных отношений на территории Октябрьского лесничества
Comprehensive plan of measures aimed at minimizing the risk of violation of mandatory requirements in the field of forest relations in the territory of the Oktyabrskoye forestry

№ п.п. Item №	Планируемое мероприятие Planned event	Ед. измерения Unit of measurement	Количество Quantity
1	Строительство дорог противопожарного назначения Construction of fire-fighting roads	км km	210
2	Содержание и ремонт дорог противопожарного назначения Maintenance and repair of fire roads	км km	520
3	Устройство противопожарных минерализованных полос Installation of fire-fighting mineralized belt	км km	450
4	Уход за противопожарными минерализованными полосами Maintenance of fire-resistant mineralized belts	км km	1200
5	Проведение профилактического противопожарного выжигания хвоста, лесной подстилки, сухой травы и других лесных горючих материалов Carrying out preventive fire-fighting burning of brushwood, forest litter, dry grass and other flammable forest materials	га hectares	300
6	Устройство, ремонт и содержание противопожарных водоемов и подъездов к ним Construction, repair and maintenance of fire-fighting reservoirs and approaches to them	тыс. га thousand hectares	39
7	Благоустройство зон отдыха граждан, пребывающих в лесах Improvement of recreation areas for citizens staying in forests	шт. pcs.	43
8	Установка и эксплуатация шлагбаумов, устройство преград, обеспечивающих ограничение пребывания граждан Installation and operation of barriers, installation of barriers to limit the presence of citizens	шт. pcs.	57
9	Проведение сплошных санитарных рубок Carrying out clear sanitary cutting	га hectares	1000
10	Проведение выборочных санитарных рубок Conducting selective sanitary cuttings	га hectares	36
11	Установка и размещение стендов и других знаков и указателей, содержащих информацию о мерах пожарной безопасности в лесах Installation and placement of stands and other signs and indicators containing information on fire safety measures in forests	шт. pcs.	65
12	Установка системы видеонаблюдения Installation of video surveillance system	шт. pcs.	15
13	Заключение соглашений о межведомственном взаимодействии между уполномоченными органами Conclusion of agreements on interdepartmental cooperation between authorized bodies	шт. pcs.	9
14	Увеличение штатной численности лесной охраны Increasing the number of forest guards	чел. person	6
15	Увеличение бюджета на содержание транспортных средств, используемых для патрулирования лесов Increasing the budget for the maintenance of vehicles used to patrol forests	–	В 2 раза

Выводы и рекомендации

В целях повышения эффективности действий, направленных на соблюдение обязательных требований участниками лесных отношений, предлагаем следующий комплекс мероприятий, направленный прежде всего на профилактику нарушений.

1. Проведение широкой профилактической работы по предотвращению нарушений требований правил пожарной безопасности в лесах, включая пропаганду. Содержанием этой работы являются:

- а) организация постоянных противопожарных выставок, агитвитрин;
- б) установка противопожарных агитплакатов, аншлагов;
- в) проведение бесед, лекций;
- г) выступления в печати, по радио и телевидению;
- д) издание и распространение плакатов, листовок;
- е) обмен опытом работы передовых противопожарных подразделений, лучших лесничеств, предприятий, проведение совместных учений;
- ж) осуществление контроля за соблюдением требований правил пожарной безопасности в лесах.

Постоянные выставки должны предусматриваться при администрациях органов местного самоуправления, непосредственно в лесничествах, на отдельных лесных участках; предупреждающие плакаты, аншлаги, стенды – в местах, наиболее часто посещаемых людьми, прежде всего вдоль лесных дорог, пеших (туристических) троп, у автостоянок на магистральных дорогах, в местах отдыха и стоянок туристов.

2. Дополнить ч. 4 ст. 53.1 Лесного кодекса Российской Федерации следующим перечнем мер противопожарного обустройства лесов:

- 1) прочистка просек, противопожарных минерализованных полос и их обновление;
- 2) эксплуатация пожарных водоемов и подъездов к источникам водоснабжения;
- 3) благоустройство зон отдыха граждан, пребывающих в лесах, в соответствии со ст. 11 Лесного кодекса Российской Федерации;
- 4) установка и эксплуатация шлагбаумов, устройство преград для ограничения пребывания

граждан в лесах в целях обеспечения пожарной безопасности;

5) создание и содержание противопожарных заслонов и устройство лиственных опушек;

6) установка и размещение стендов и других знаков и указателей, содержащих информацию о мерах пожарной безопасности в лесах.

Места отдыха и курения на территории лесного фонда должны быть организованы вдоль лесных дорог, троп, у водоемов, родников, колодцев, а зоны отдыха – в местах массового посещения населения. В наиболее живописных местах необходимо предусматривать устройство смотровых площадок.

Площадки для ночлега и бивуака должны быть предусмотрены и обустроены вблизи лесных дорог, троп, в местах, где возможно пребывание туристов, совершающих многодневные походы. Для обустройства постоянных туристских маршрутов целесообразно привлекать туристические организации, для чего необходимо подписать соглашение о порядке сотрудничества и взаимодействия с региональными органами исполнительной власти в сфере туризма. В рамках межведомственного взаимодействия с указанными органами необходимо разработать информационные буклеты с инструкциями и правилами поведения на землях лесного фонда.

Площадки для стоянки автотранспорта должны быть предусмотрены на территории лесного фонда вдоль лесных дорог, в зонах отдыха, у шлагбаумов, перекрывающих въезды на участки с высокой пожарной опасностью, и в других местах, где возможно скопление автотранспорта.

Конкретные места установки шлагбаумов и других преград, закрывающих доступ в лес, должны определяться строго после натурного обследования территории.

3. Необходимо внести изменения в региональное законодательство, регулирующее порядок и устанавливающее нормативы заготовки гражданами древесины для собственных нужд в части установления льготных условий и увеличения объемов обеспечения деловой древесиной молодых и многодетных семей в целях улучшения их жилищных условий. Кроме того, изменения должны

предусматривать установление понятия «лесодефицитных районов» и повышение стоимости деловой древесины в указанных районах, а также установление расширенного списка льготных категорий граждан, имеющих право на получение деловой древесины в «лесодефицитных районах». Указанные дополнения позволят исключить возможность злоупотребления правом граждан на получение древесины на корню и ограничения бесконтрольной деятельности малых пилорам, работающих без собственного лесного ресурса. Последние сегодня являются основными приобретателями древесины у граждан.

Одновременно изменения необходимо внести в федеральное законодательство, регулирующее порядок предоставления субъектам Российской Федерации прав на заготовку древесины в целях использования для собственных нужд гражданами. Изменения прежде всего предлагаются внести в ст. 30 Лесного кодекса РФ в части обеспечения адресности предоставления древесины гражданам. Кроме того, в целях обеспечения целевого использования древесины необходимо установить юридическую ответственность за скупку древесины, предоставленной для собственных нужд гражданам.

4. Предусмотреть соглашениями о порядке межведомственного взаимодействия периодичность проведения межведомственных комиссий с участием представителей региональных органов исполнительной власти в области лесных отношений и органов МВД по вопросам выявления и пресечения нарушений обязательных требований в области лесных отношений не реже одного раза в квартал. Соглашения между заинтересованными органами в целях оперативного межведомственного взаимодействия должны предусматривать необходимость утверждения ежегодных планов по межведомственному взаимодействию, в том числе со структурными подразделениями Росавиации и МЧС.

5. Увеличить численность работников лесной охраны и расходов на содержание патрульного автотранспорта пропорционально увеличению плановых объемов патрулирования лесов на территории конкретного лесничества.

6. Повысить транспортную доступность территории лесного фонда, прежде всего за счет строительства и ремонта дорог круглогодичного действия.

7. Актуализировать проекты противопожарного обустройства лесов, разработанные в советский период.

8. Оборудовать пожарные наблюдательные пункты системой видеонаблюдения, в отдаленных местах с отсутствием вышек сотовой связи. Потребность и места их размещения обосновать в проектах противопожарного обустройства лесов.

9. При планировании маршрутов наземного патрулирования использовать риск-ориентированный подход, уделяя повышенное внимание местам с большим количеством правонарушений, например, местам интенсивного рекреационного использования, территориям, вышедшим из-под сельскохозяйственных пользований, территориям вблизи населенных пунктов и расположенным вдоль границ между лесничествами и между субъектами Российской Федерации.

10. Увеличить количество шлагбаумов для ограничения доступа в лес на пожароопасный период пропорционально площади лесного фонда. Места установки шлагбаумов обосновать в проектах противопожарного обустройства лесов на основе анализа совершения правонарушений.

11. Усилить пропаганду необходимости соблюдения обязательных требований для граждан (физических лиц), используя средства массовой информации, буклеты, листовки, информационные анонсации, путем проведения лекций, выставок и прочих мероприятий.

12. Развивать систему дистанционного мониторинга лесов с использованием данных спутниковой съемки на основе соглашений с Рослесинформом, а также данных, полученных с помощью беспилотных авиационных систем (далее – БАС). При этом требуется обеспечить работников лесной охраны БАС в необходимом количестве, а также провести дополнительную профессиональную подготовку сотрудников в области управления БАС и пользования специализированной аппаратурой для проведения фото- и видеосъемки и программным обеспечением для обработки и анализа собранных данных.

Список источников

- Лесной кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 16.04.2025).
- Лесной план Пермского края на 2018–2027 годы (с изменениями по состоянию на 01.01.2023 г.) : утв. указом губернатора Пермского края от 19.04.2018 г. № 36. Пермь, 2018. 443 с. URL: <https://priroda.permkrai.ru/document/deyatelnost/lesnoe-khozyaystvo/lesnoy-plan-permskogo-kraya> (дата обращения: 16.04.2025).
- О внесении изменений в распределение годового количества патрулирований лесов по лесничествам на 2025 год : приказ Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края от 07.02.2025 г. № 30-01-02-125. URL : <https://priroda.permkrai.ru/documenty/363305> (дата обращения: 16.04.2025).
- Об обязательных требованиях в Российской Федерации : Федеральный закон от 31.07.2020 № 247-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358670/ (дата обращения: 16.04.2025).
- Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации : приказ Минприроды России от 18.08.2014 года № 367. URL : https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_169590 (дата обращения: 16.04.2025).
- Об утверждении Порядка и Нормативов осуществления лесной охраны : приказ Минприроды России от 15.12.2021 г. № 955. URL : https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_408039 (дата обращения: 16.04.2025).
- Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб : утв. Рослесхозом 17.11.1997 г. М., 1997. 16 с.
- Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 18.12.2001 № 174-ФЗ (ред. от 27.10.2025). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34481/ (дата обращения: 16.04.2025).
- Уголовный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 17.11.2025). URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10699/ (дата обращения: 16.04.2025).
- Федорова Н. С., Морозов А. Е. Контроль в области лесных отношений. Новые подходы и их эффективность в рамках реформы законодательства (на примере Челябинской области) // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 17–29.*

References

- Criminal Code of the Russian Federation : Federal Law No. 63-FZ of 13.06.1996 (as amended on 17.11.2025). URL: https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_10699/ (accessed 16.04.2025).
- Criminal Procedure Code of the Russian Federation : Federal Law № 174-FZ of 18.11. 2001 (as amended on October 27, 2025). URL: https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_34481/ (accessed 16.04.2025).
- Fedorova N. S., Morozov A. E. Control in the field of forest relations. New approaches and their effectiveness in the framework of legislative reform (on the example of the Chelyabinsk region) // Forests of Russia and economy of them. 2024. № 4 (91). P. 17–29.*
- Forest Code of the Russian Federation : Federal Law № 200-FZ of 04.12.2006. URL: https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 16.04.2025).
- Forest plan of Perm Krai for 2018-2027 (with amendments as of 01.01.2023) (approved by the decree of the Governor of Perm Krai dated 19.04.2018 № 36). Perm, 2018. 443 p. URL: <https://priroda.permkrai.ru/document/deyatelnost/lesnoe-khozyaystvo/lesnoy-plan-permskogo-kraya> (accessed 16.04.2025).

On amendments to the distribution of the annual number of forest patrols by forestry districts for 2025, approved by order of the Ministry of Natural Resources, Forestry and Environment of the Perm Territory dated 13.12.2024 № 30-01-02-1386 : Order of the Ministry of Natural Resources, Forestry and Environment of the Perm Territory dated 07.02.2025 № 30-01-02-125. URL : <https://priroda.permkrai.ru/documenty/363305> (accessed 16.04.2025).

On approval of the List of forest vegetation zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation : Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 18.08.2014 № 367. URL : https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_169590 (accessed 16.04.2025).

On approval of the Procedure and Standards for the implementation of forest protection : Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 15.12.2021 № 955. URL : https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_408039 (accessed 16.04.2025).

On mandatory Requirements in the Russian Federation : Federal Law of 31.07.2020 № 247-FZ. URL: https://www.consultant.ru/cons_doc_LAW_358670/ (accessed 16.04.2025).

Recommendations for fire prevention in forests and regulation of forest fire services : approved by Rosleskhoz on 17.11.1997. M., 1997. 16 p.

Информация об авторах

O. H. Белоусова – магистрант;

A. E. Морозов – доктор сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

O. N. Belousova – Master's student;

A. E. Morozov – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 20.04.2025; принята к публикации 20.05.2025.

The article was submitted 20.02.2025; accepted for publication 20.05.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 139–147.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 139–147.

Научная статья
УДК 629.014.5
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.013

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МНОГОСЕКЦИОННЫХ АКТИВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Евгений Евгеньевич Баженов¹, Денис Олегович Чернышев²,
Евгений Александрович Семенов³

¹ Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

^{2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ st194@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5457-1000>

² olegch@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9396-1246>

³ Stuning-mg@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос по созданию платформ технологических и транспортных машин, обладающих повышенными эксплуатационными свойствами, касающимися их подвижности. Одним из путей создания таких машин являются активные сочлененные транспортные системы. На этапе проектирования таких систем необходимо учитывать особенности функционирования машин в сложных условиях. Разработка математической модели движения сочлененной многосекционной транспортной системы для лесных дорог позволяет на этапе проектирования значительно снизить время и материальные средства на проведение доводочных испытаний. Предложена математическая модель движения активной сочлененной многокомплектной транспортной системы для лесных дорог. Данная модель позволяет проводить анализ динамических взаимодействий элементов сочлененной машины между собственными секциями и с опорной поверхностью. Стохастический подход к представлению характеристик факторов системы уравнений позволяет использовать модель в качестве основы для формирования алгоритма управления системы распределения силовых потоков между движителями сочлененной многокомплектной машины.

Ключевые слова: модель движения, активная система, сочлененная машина, многосекционная машина, углы Крылова

Для цитирования: Баженов Е. Е., Чернышев Д. О., Семенов Е. А. Математическое моделирование движения многосекционных активных транспортных систем // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 139–147.

Original article

MATHEMATICAL MODELING OF MOVEMENT OF MULTI-SECTIONAL ACTIVE TRANSPORT SYSTEMS

Evgeny E. Bazhenov¹, Denis O. Chernyshev², Evgeny A. Semenov³

¹ Ural Institute of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia

^{2,3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ st194@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5457-1000>

² olegch@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9396-1246>

³ Stuning-mg@mail.ru

Abstract. The issue of creating platforms for technological and transport machines with enhanced operational properties related to their mobility is considered. One of the ways to create such machines is through active articulated transport systems. At the design stage of such systems, it is necessary to take into account the peculiarities of the functioning of machines in difficult conditions. The development of a mathematical model of the movement of an articulated multi-section transport system for forest roads allows to significantly reduce the time and material resources for carrying out finishing tests at the design stage. A mathematical model of the movement of an active articulated multi-component transport system for forest roads is proposed. This model makes it possible to analyze the dynamic interactions of the elements of an articulated machine between its own sections and with the support surface. The stochastic approach to the representation of the characteristics of the factors of the system of equations allows using the model as the basis for the formation of a control algorithm for the distribution of power flows between the propellers of an articulated multi-component machine.

Keywords: movement model, active system, articulated machine, multi-section machine, Krylov angles

For citation: Bazhenov E. E., Chernyshev D. O., Semenov E. A. Mathematical modeling of movement of multi-sectional active transport systems // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 139–147.

Введение

В настоящее время древесина широко используется почти во всех сферах и областях народного хозяйства.

Леса, как возобновляемый ресурс, являются природной гордостью нашей страны, занимают 49 % территории и составляют около 20 % всех лесов мира (рис. 1).

Лесная промышленность Российской Федерации имеет ведущие позиции и в общемировом масштабе. Если рассматривать вопрос объема лесозаготовок, то следует отметить, что страна входит в пятерку лидирующих стран мира.

Развитие лесного комплекса в нашей стране имеет определяющее значение, так как напрямую

связано с экономическим развитием страны. Заготовка древесины идет согласно Лесному кодексу Российской Федерации, принятому Государственной Думой в 2006 г. Данный Кодекс с 01.01.2025 вступил в силу с рядом изменений (Лесной кодекс, 2006).

В 2018 г. Министерством природы, Минпромторгом и Рослесхозом разработана и утверждена Правительством РФ «Стратегия развития лесного комплекса РФ до 2030 года» «с целью обеспечения роста сектора лесной экономики; внедрения инновационных процессов при использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов, а также выполнения международных обязательств РФ по вопросам лесоуправления» (Стратегия развития лесного

комплекса РФ до 2030 года, 2021). Все перечисленное выше подразумевает поднятие эффективности лесовосстановления в РФ, создание привлекательности для открытия новых производств и выхода на внешний рынок.

В последнее время наблюдается освоение лесных территорий с непростым рельефом (холмами, склонами гор и т. д.), что напрямую связано с истощением равнинных территорий эксплуатационных лесов (рис. 2).

Понятно, что машинная заготовка древесины, на осложненных рельефах имеет свои как технические, так и технологические сложности.

Для успешной реализации утвержденной Стратегии развития лесного комплекса есть прямая необходимость в использовании универсальной техники, многооперационных машин специального назначения.

Стоит отметить, что при проведении лесозаготовительных работ «перспективным направлением является эксплуатация полноприводных транспортных машин на основе активных сочлененных транспортных систем, в конструкции которых имеется постоянный или полупостоянный шарнир, позволяющий совершать более резкие повороты и развороты» (Платонов, 1989).

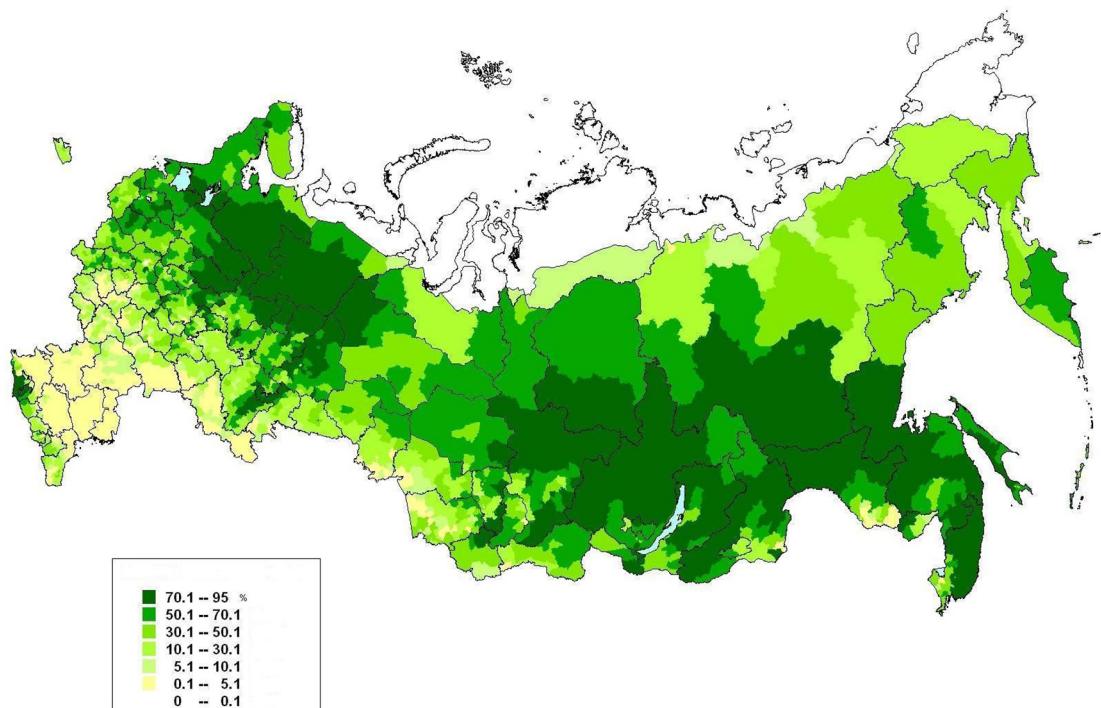


Рис. 1. Леса на карте РФ
Fig. 1. Forests on the map of the Russian Federation



Рис. 2. Лесозаготовительные работы на склонах гор
Fig. 2. Logging operations on mountain slopes

Данные сочлененные транспортные системы имеют большое число степеней свободы (рис. 3).

Использование сочлененных транспортных и технологических машин лесного назначения позволяет решить много задач, которые возникают при проведении лесозаготовительных работ при разных погодных условиях и различном состоянии дорог (зимние дороги, грунтовые, распутица и др.).

На сегодняшний день улучшение эксплуатационных свойств транспортных систем – вопрос действительно актуальный и перспективный.

Направления для совершенствования следующие:

- во-первых, это увеличение производительности;
- во-вторых, это повышение экономических и экологических показателей;

– в-третьих, это повышение эксплуатационной надежности машин;

– в-четвертых, это усовершенствование и автоматизация систем управления транспортными системами и целый комплекс других работ теоретической и экспериментальной направленности.

Описывая математически процесс движения обозначенных систем, внимание следует уделять обособленному движению первой и второй секций, заменяя узел сочленения (УС) между ними силой взаимодействия. Проекции реакций связи общего для разных секций УС будут равны по модулю и противоположны по направлению. То есть взаимодействие между секциями заменяется равнодействующими силой и моментом, спроектированными на соответствующие оси координат (Баженов, Вьюхин, 2010).



Рис. 3. Специальная техника при лесозаготовительных работах
Fig. 3. Special equipment for logging operations

Методы

Работа основана на методе математического моделирования на основе комплекса существующих теоретических и практических сведений.

Результаты и их обсуждение

Создадим модель непрямолинейного движения сочлененной транспортной машины без учета приложенной силы в узле крепления технологического оборудования, поэтому усилие $P_{ц}$ принимаем равным нулю (Павлов, Кувшинов, 2011; Полунян, 2009).

Рассмотрим движение обособленной секции сочлененной машины как свободное движение твердого тела, аппроксимируемого параллелограммом (рис. 4). Перемещение рассматривается относительно неподвижной системы координат (НСК) $O_1X_1Y_1Z_1$, связанной с опорной поверхностью. В НСК формируется модель внешних условий движения транспортной системы, а точка O_1 является точкой начала отсчета траектории движения машины (Тарасик, 2004; Дхир, Санкар, 1997). В качестве полюса примем точку O , которая одновременно является центром масс (ЦМ) тела.

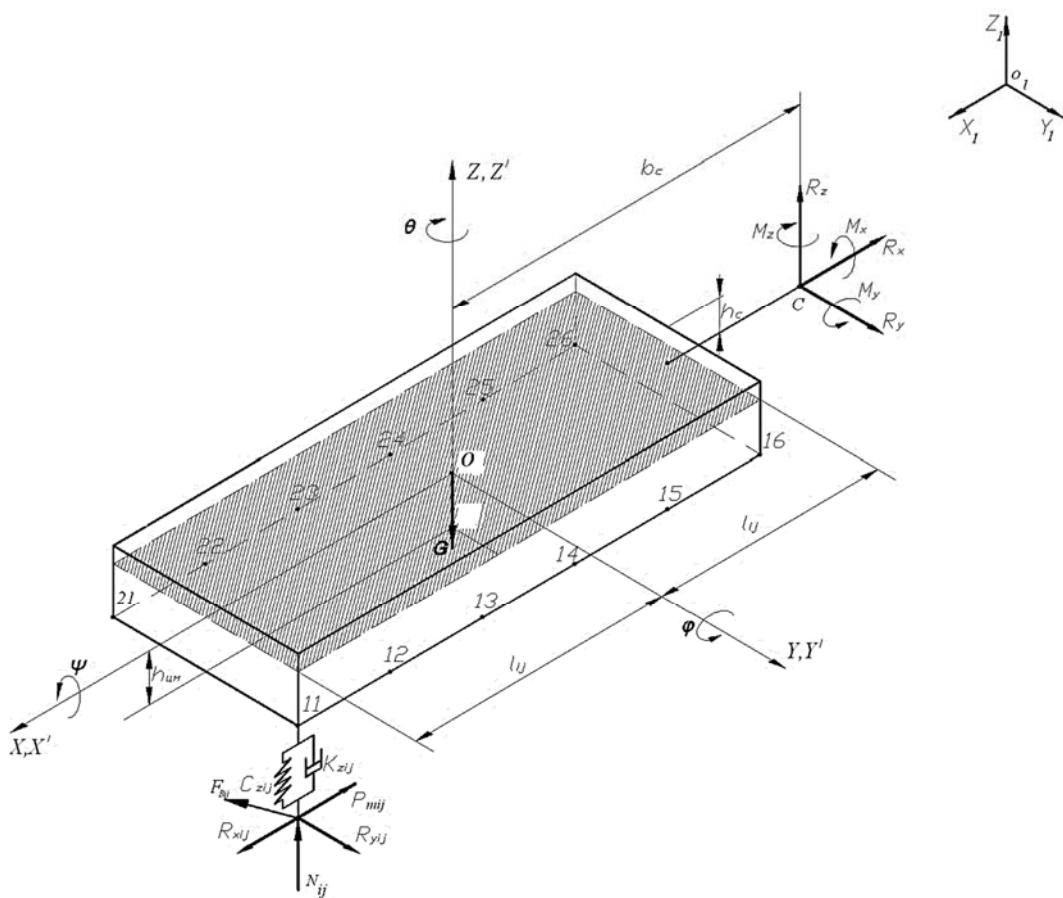


Рис. 4. Силы, действующие на обособленную секцию транспортной системы
Fig. 4. Forces acting on a separate section of the transport system

Разместим на схеме оси двух декартовых систем координат – $O'X'Y'Z'$ и $OXYZ$. Подвижная система координат (ПСК) $OXYZ$ жестко связана с рассматриваемым телом. Оси X , Y , Z проходят через ЦМ, совпадают с осями симметрии материального тела и являются главными осями (Ватанабе, Китано, 1996).

Оси $O'X'Y'Z'$ при движении тела перемещаются вместе с ЦМ поступательно. Таким образом, в системе отсчета $O_1X_1Y_1Z_1$ положение тела будет известно, если будут известны координаты ЦМ и углы Крылова — Эйлера θ , ψ , ϕ по отношению к осям $O'X'Y'Z'$ (рис. 5).

Исходя из этого, уравнения движения свободного твердого тела, позволяющие найти его положение в системе отсчета $O_1X_1Y_1Z_1$ в любой момент времени, имеют вид (Кручинин, 2013)

$$\begin{cases} x_{O_1} = f_1(t), & y_{O_1} = f_2(t), & z_{O_1} = f_3(t); \\ \phi = f_4(t), & \psi = f_5(t), & \theta = f_6(t). \end{cases} \quad (1)$$

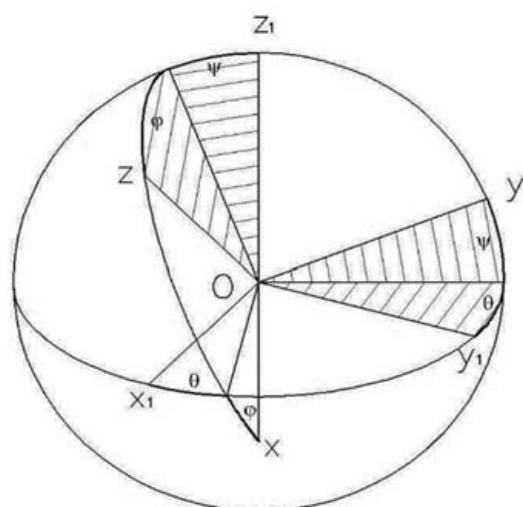


Рис. 5. Углы Крылова
Fig. 5. Krylov Angles

Теорема об изменении количества движения системы дает возможность охарактеризовать движение ЦМ (Вонг, Чианг, 2001; Сетинч и др., 2015).

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = \sum \vec{F}^e. \quad (2)$$

В проекциях на ПСК теорема будет иметь вид

$$\vec{Q} = m \vec{v}_O = m(v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}), \quad (3)$$

где i, j, k – единичные орты векторов ПСК; v_O – ЦМ.

После дифференцирования уравнение (3) будет иметь вид

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = m \left[\frac{dv_x}{dt} \vec{i} + v_x \frac{d\vec{i}}{dt} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} + v_y \frac{d\vec{j}}{dt} + \frac{dv_z}{dt} \vec{k} + v_z \frac{d\vec{k}}{dt} \right], \quad (4)$$

где

$$\frac{d\vec{i}}{dt} = \vec{\omega} \vec{i}, \quad \frac{d\vec{j}}{dt} = \vec{\omega} \vec{j}, \quad \frac{d\vec{k}}{dt} = \vec{\omega} \vec{k}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим:

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = m \left[\frac{dv_x}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z}{dt} \vec{k} + \vec{\omega} \underbrace{(v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k})}_{\vec{v}_O} \right]. \quad (6)$$

Учитывая, что

$$\vec{\omega} \vec{v}_O = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix},$$

движение ЦМ будет описываться следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{dQ_x}{dt} = m \frac{dv_x}{dt} + m(\omega_y v_z - \omega_z v_y) = \sum F_x^e, \\ \frac{dQ_y}{dt} = m \frac{dv_y}{dt} + m(\omega_z v_x - \omega_x v_z) = \sum F_y^e, \\ \frac{dQ_z}{dt} = m \frac{dv_z}{dt} + m(\omega_x v_y - \omega_y v_x) = \sum F_z^e. \end{cases} \quad (7)$$

Используя теорему об изменении кинетического момента механической системы, составим дифференциальные уравнения движения твердого тела при вращательном движении вокруг центра масс (Новиков, 2020; Юрченко, 2016). Учитывая,

что оси ПСК являются главными, то уравнения будут иметь вид динамических уравнений Эйлера:

$$\begin{cases} J_x \frac{d\omega_x}{dt} + (J_z - J_y) \omega_y \omega_z = \sum M_x^e, \\ J_y \frac{d\omega_y}{dt} + (J_x - J_z) \omega_z \omega_x = \sum M_y^e, \\ J_z \frac{d\omega_z}{dt} + (J_y - J_x) \omega_x \omega_y = \sum M_z^e. \end{cases} \quad (8)$$

Углы Крылова – Эйлера θ, ψ, φ как функция времени представляют закон вращательного движения тела. Таким образом, к системе уравнений нужно добавить динамические уравнения Эйлера:

$$\begin{cases} \dot{\theta} = -\frac{\omega_x \sin \varphi}{\cos \psi} + \frac{\omega_z \cos \varphi}{\cos \psi}, \\ \dot{\psi} = \omega_x \cos \varphi + \omega_z \sin \varphi, \\ \dot{\varphi} = \omega_x \frac{\sin \varphi \sin \psi}{\cos \psi} + \omega_y - \omega_z \frac{\cos \varphi \sin \psi}{\cos \psi}. \end{cases} \quad (9)$$

Тогда система дифференциальных уравнений, описывающая движения обособленной секции проекции на ПСК, будет иметь вид

$$\begin{cases} m \dot{v}_x + m(\omega_y v_z - \omega_z v_y) = G_x + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 P f_{xij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 P m_{xij} + R_x, \\ m \dot{v}_y + m(\omega_z v_x - \omega_x v_z) = G_y + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 P f_{yij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 P m_{yij} + R_y, \\ m \dot{v}_z + m(\omega_x v_y - \omega_y v_x) = G_z + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 N_{zij} + R_z, \\ J_x \dot{\omega}_x + (J_z - J_y) \omega_y \omega_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_x (P f_{yij}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_x (P m_{yij}) + \\ + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_x (N_{yij}) + M_x (R_y), \\ J_y \dot{\omega}_y + (J_x - J_z) \omega_x \omega_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_y (P f_{xij}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_y (P m_{xij}) + \\ + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_y (N_{xij}) + M_y (R_x) + M_y (R_z), \\ J_z \dot{\omega}_z + (J_y - J_x) \omega_x \omega_y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_z (P f_{xij}) + \\ + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_z (P m_{xij}) + M_z (R_y), \end{cases} \quad (10)$$

где $P f_{ij}$ – сила сопротивления движению i -го колеса j -й секции;

$P m_{ij}$ – сила взаимодействия между опорной поверхностью и i -м колесом j -й секции;

N_{ij} – нормальная реакция опорной поверхности под i -м колесом j -й секции;

R – равнодействующая сил в узле сочленения.

Для формализации движения свободного твердого тела и определения его положения по отношению к неподвижной системе координат $O_1X_1Y_1Z_1$ в любой момент времени введем уравнения перехода из ПСК (OXYZ) в НСК ($O_1X_1Y_1Z_1$). Такими уравнениями являются элементы матрицы направляющих косинусов (Динг и др., 2016). Матрицу получают последовательным поворотом ПСК относительно НСК на углы Крылова – Эйлера θ, ψ, φ соответственно.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где $A_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$ – координаты вектора в НСК;

$A = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ – координаты вектора в ПСК;

$B = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ – матрица направляющих косинусов.

Уравнения направляющих косинусов имеют вид

$$\begin{aligned} a_{11} &= \cos \theta \cos \varphi - \sin \psi \sin \varphi \sin \theta, \\ a_{12} &= -\cos \psi \sin \theta, \\ a_{13} &= \sin \varphi \cos \theta + \cos \varphi \sin \psi \sin \theta, \\ a_{21} &= \sin \theta \cos \varphi + \cos \theta \sin \varphi \sin \psi, \\ a_{22} &= \cos \psi \cos \theta, \\ a_{23} &= \sin \varphi \sin \theta - \sin \psi \cos \varphi \cos \theta, \\ a_{33} &= \cos \psi \cos \varphi. \end{aligned} \quad (12)$$

Переход из НСК в ПСК:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = B^T \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Аналогично составляется система уравнений для второй и последующих секций сочлененной транспортной системы. Полученная система уравнений является неопределенной. Для раскрытия неопределенности в систему необходимо ввести уравнения состояния, в качестве которых могут выступать уравнения, описывающие буксование колес относительно опорной поверхности, и уравнения увода колес (Баженов, 2009; Баженов, 2010).

Выводы

Полученная математическая модель дает возможность находить положение активной сочлененной транспортной системы и каждого из ее звеньев относительно опорной поверхности в любой момент времени и учитывать динамические взаимодействия элементов машины с опорной поверхностью. Сбалансированность производственного и экологического эффектов от применения полноприводных транспортных машин на основе использования активных сочлененных транспортных систем лесного назначения является важным действующим фактором при вопросе эффективного управления качеством лесных работ.

Работы по улучшению эксплуатационных свойств транспортных систем лесного назначения способствуют поднятию производительности при проведении лесозаготовительных и лесовосстановительных работ, что, в свою очередь, поднимает эффективность лесохозяйственных и лесозаготовительных мероприятий.

Список источников

- Баженов Е. Е. Транспортные и технологические системы. Екатеринбург : УГТУ УПИ, 2009. 174 с.
- Баженов Е. Е., Вьюхин А. В. Применение сочлененных транспортных систем в добывающих отраслях национальной экономики // Грузовик : науч.-техн. журнал. 2010. № 4. С. 34–38.
- Баженов Е. Е. Теории сочлененных транспортных систем. Екатеринбург : УрФУ, 2010. 257 с.
- Ватанабе К., Китано М. Исследование проходимости сочлененных гусеничных машин. Ч. 1 : Теоретический и экспериментальный анализ // Механика. 1996. № 23. С. 69–83.

- Вонг Ю., Чианг С. Общая теория скольжения гусеничных машин на твердой почве // Автомобильная инженерия. 2001. № 215. С. 343–355.
- Динг Х., Микарик С., Хи Ю. Проектирование активной системы управления прицепом для сочлененных тяжелых грузовиков с несколькими прицепами с использованием моделирования в реальном времени // Труды Института инженеров-механиков. 2016. № 227. С. 643–655.
- Дхир А., Санкар С. Аналитическая модель для динамического моделирования гусеничных автомобилей повышенной проходимости // Динамика транспортных систем. 1997. № 27. С. 37–63.
- Кручинин И. Н. Модульный принцип построения динамических моделей движения транспортных средств // Материалы международной научно-практической конференции. Т. 2. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2013. С. 239–248.
- Лесной кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 20.04.2025).
- Новиков В. В. Динамика движения. Линейная теория подрессоривания : учеб. пособие. Волгоград : ВолгГТУ, 2020. 160 с.
- Павлов В. В. Кувшинов В. В. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин. Чебоксары, 2011. 430 с.
- Платонов В. Ф. Полноприводные автомобили. М. : Машиностроение, 1989. 312 с.
- Полунгян А. А. Проектирование полноприводных колесных машин. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 488 с.
- Сетинч М., Градисар М., Томат Л. Оптимизация планирования проекта шоссе с использованием модифицированного генетического алгоритма // Математическое программирование и исследование операций. 2015. № 64. С. 687–707.
- Стратегия развития лесного комплекса РФ до 2030 года : Постановление Правительства РФ от 11.02.2021 г. № 312-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxI-D77KCTL.pdf> (дата обращения: 20.04.2025).
- Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем. М. : ДизайнПро, 2004. 640 с.
- Юрченко В. М. Самоходные транспортные машины. Тягачи на пневмоколесном ходу для демонтажа (монтажа) механизированных комплексов. Кемерово : КузГТУ, 2016. 74 с.

References

- Bazhenov E. E. Theory of articulated transport systems. Yekaterinburg : UrFU, 2010. 257 p.
- Bazhenov E. E. Transport and technological systems. Yekaterinburg : USTU-UPI, 2009. 174 p.
- Bazhenov E. E., Vyukhin A. V. Application of articulated transport systems in extractive industries of the national economy // Truck : Scientific and Technical Journal. 2010. № 4. P. 34–38. (In Russ.)
- Dhir A., Sankar S. Analytical model for dynamic modeling of tracked off-road vehicles // Dynamics of Transport Systems. 1997. № 27. P. 37–63. (In Russ.)
- Ding H., Mikarik S., Hee Y. Designing an active trailer control system for articulated heavy trucks with multiple trailers using real-time modeling // Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers. 2016. № 227. P. 643–655. (In Russ.)
- Forest Code of the Russian Federation : Federal Law of dated 04.12.2006 № 200-FZ. URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 20.04.2025).
- Kruchinin I. N. The modular principle of constructing dynamic models of vehicle movement // Materials of the International scientific and practical conference. Vol. 2. Perm : PNRPU Publishing House, 2013. P. 239–248. (In Russ.)
- Novikov V. V. Dynamics of movement. Linear theory of springing : textbook. Volgograd : VolgSTU, 2020. 160 p.

- Pavlov V. V., Kuvshinov V. V.* Theory of movement of multi-purpose tracked and wheeled vehicles. Cheboksary, 2011. 430 p.
- Platonov V. F.* Four-wheel drive cars. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1989. 312 p.
- Polunyan A. A.* Design of four-wheel drive wheeled vehicles. Moscow : Bauman Moscow State Technical University, 2009. 488 p.
- Setinch M., Gradišar M., Tomat L.* Optimization of highway project planning using a modified genetic algorithm // Mathematical Programming and Operations Research. 2015. № 64. P. 687–707. (In Russ.)
- Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030 : Decree of the Government of the Russian Federation dated 02.11.2021 № 312-r. URL: <http://static.government.ru/media/files/> (accessed 20.04.2025).
- Tarasik V. P.* Mathematical modeling of technical systems. Moscow : DesignPro, 2004. 640 p.
- Watanabe K., Kitano M.* Investigation of the patency of articulated tracked vehicles. Part 1: Theoretical and experimental analysis // Mechanics. 1986. № 23. P. 69–83. (In Russ.)
- Wong Yu., Chiang S.* The general theory of sliding tracked vehicles on solid ground // Automotive Engineering. 2001. № 215. P. 343–355. (In Russ.)
- Yurchenko V. M.* Self-propelled transport vehicles. Pneumatic-wheeled tractors for dismantling (mounting) mechanized complexes. Kemerovo : KuzSTU, 2016. 74 p.

Информация об авторах

Е. Е. Баженов – доктор технических наук, профессор;

Д. О. Чернышев – кандидат технических наук, доцент;

Е. А. Семенов – аспирант.

Information about the authors

E. E. Bazhenov – Doctor of technical sciences, Professor;

D. O. Chernyshev – Candidate of technical sciences, Associate Professor;

E. A. Semenov – postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 29.04.2025; принята к публикации 20.05.2025.

The article was submitted 29.04.2025; accepted for publication 20.05.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 148–156.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 148–156.

Научная статья
УДК 661.183.2
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.014

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДСОРБЦИИ ТАНИНОВ НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ

Т. М. Панова¹, О. Д. Авдюкова², И. К. Гиндулин³, А. В. Суховеева⁴,
Д. А. Зверева⁵

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

Автор, ответственный за переписку: Авдюкова Оксана Дмитриевна,
avdyukovaod@gmail.com

Аннотация. Активные угли благодаря своим физико-химическим свойствам широко применяются в различных отраслях, включая пищевую промышленность. Например, активный древесный уголь эффективно удаляет высокомолекулярные соединения, вызывающие помутнение солодовых напитков. Исследования показали, что углеродные нанопористые адсорбенты можно производить из древесины различных пород, произрастающих на территории ее промышленной переработки, что делает их перспективным направлением в синтезе углеродных сорбентов. Технология использования активного угля зависит от свойств среды и размера сорбируемых молекул. Ключевое влияние на свойства угля оказывают параметры пиролиза и активации. Эксперименты с промышленными и лабораторными образцами, проведенные в научно-исследовательской лаборатории УГЛТУ, подтвердили возможность производства эффективных сорбентов стабильного качества с низкой себестоимостью за счет возможности регулирования процессов их получения. Применение экспериментальных углей из различных пород древесины на пивоваренных заводах Свердловской области позволит повысить коллоидную стойкость пива. Обработка нанопористым активным древесным углем не только улучшает качество продукта, но и позволяет создать более экономически эффективную по сравнению с существующими методами технологию.

Ключевые слова: нанопористые углеродные сорбенты, активные угли, адсорбция, коллоидная стойкость, модели адсорбции

Для цитирования: Исследование процессов адсорбции танинов на углеродных нанопористых материалах // Т. М. Панова, О. Д. Авдюкова, И. К. Гиндулин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 148–156.

Original article

RESEARCH OF TANNIN ADSORPTION PROCESSES ON CARBON NANOPOROUS MATERIALS

**Tatiana M. Panova¹, Oksana D. Avdyukova², Ildar K. Gindulin³,
Arina V. Sukhoveeva⁴, Darya A. Zvereva⁵**

¹⁻⁵ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Oksana D. Avdyukova,
avdyukovaod@gmail.com

Abstract. Activated carbons are widely used in many industries including food production due to their physicochemical properties. For example, activated wood charcoal effectively removes high-molecular compounds causing turbidity of malt beverages. Researches have shown the possibility of producing carbon nanoporous adsorbents from various types of wood growing within industrial development zones, which is a promising direction for synthesizing coal-based sorbents. The technology for using activated carbon depends on the properties of the medium and the size of the molecules being sorbed. Pyrolysis and activation parameters significantly influence the properties of the carbon. Experiments with industrial and laboratory samples conducted at USFEU's research laboratory confirmed the feasibility of obtaining effective stable-quality sorbents with low costs by regulating technological processes. Application of experimental carbons made from different tree species at breweries in the Sverdlovsk region will increase beer colloid stability. Treatment with nanoporous activated charcoal improves product quality and creates an economically more efficient technology compared to existing methods.

Keywords: nanoporous carbon sorbents, activated carbons, adsorption, colloidal stability, adsorption models

For citation: Research of tannin adsorption processes on carbon nanoporous materials // T. M. Panova, O. D. Avdyukova, I. K. Gindulin [et al.] // Forests of Russia and economy of them. 2025. № 4 (95). P. 148–156.

Введение

В настоящее время активно ведутся работы по совершенствованию качественных характеристик и увеличению ассортиментного ряда слабо-алкогольных напитков с использованием инновационных технологических приемов и методов их адсорбционной очистки, в основе которых применяются углеродные нанопористые материалы растительного происхождения.

Повсеместно проводятся научно-исследовательские работы в отрасли пищевой безопасности продуктов питания и напитков. Для указанных целей внедряются различные адсорбенты и усовершенствованные методы технологической обработки. Ведущую позицию занимают активные угли, получаемые из древесины различных пород (Гаврилова, Назаров, 2015).

Углеродные адсорбенты в сравнении с адсорбентами синтетического происхождения наделены более высокой селективностью, а содержание вредных веществ в них значительно меньше, чем у неорганических сорбентов (Кинле, Бадер, 1984). В связи с этим получение углеродных адсорбентов из древесины методом пиролиза с последующей активацией и их использование для глубокой очистки напитков, соков и водно-спиртовых растворов имеют важное практическое и научное значение.

Согласно экспериментальным данным, активный уголь возможно производить из наиболее распространенных на территории Уральского округа пород древесины, таких как береза, осина и сосна. Помимо этого, как показали полученные данные при использовании экспериментального активного

угля в лаборатории УГЛТУ, процесс адсорбции протекает эффективнее, чем при применении промышленного угля.

Цель, объекты и методика их исследования

Целью работы является исследование сорбционных свойств экспериментальных активных углей (АУ), полученных из древесных углей на основе березы, осины, сосны, по извлечению танинов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи.

1. Исследовать процесс адсорбции танинов экспериментальными активными углями с применением моделей сорбции.
2. Определить показатели энергии Гиббса для исследуемых образцов АУ.
3. Оценить эффективность сорбции полифенолов из пива экспериментальными активными углями.

Объект исследования – экспериментальные древесные активные угли из разных пород древесины, полученные в научно-исследовательской лаборатории УГЛТУ.

Адсорбционную активность по йоду определяли по ГОСТ 6217, осветляющую способность – по индикатору метиленовому синему в соответствии с ГОСТ 4453–74.

Одним из компонентов, влияющих на коллоидную стойкость пива, являются полифенолы. В данной работе в качестве модельных растворов полифенолов были использованы растворы танина.

Для описания процесса адсорбции применяли следующие модели: модель Ленгмюра; модель Фрейндлиха; модель БЭТ; модель Темкина; модель Дубинина – Радушкевича; модель Френкеля – Хелси – Хилла; модель Флори – Хаггинса; модель Гаркинса – Джура.

Содержание танина определяли методом Франкена – Люикса. Значение сорбционной емкости рассчитывали по формуле

$$A = \frac{(C_s - C_e)}{mV} \quad (1)$$

где A – сорбционная емкость, ммоль/г,

C_s – начальная концентрация адсорбата, ммоль/л,

C_e – равновесная концентрация адсорбата, ммоль/л,

m – навеска адсорбента, г,

V – объем раствора, дм³.

Для расчета предельной сорбции A_∞ и константы Ленгмюра применяли уравнение Ленгмюра в линейном виде:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_\infty} + \frac{1}{K_L A_\infty C_e} \quad (2)$$

Энергию Гиббса определяли с помощью константы Ленгмюра по формуле

$$\Delta G = RT \ln (K_L), \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – температура, K_L – константа Ленгмюра.

Результаты и их обсуждение

Проведена сравнительная оценка адсорбционных характеристик промышленного и экспериментальных АУ, данные представлены в табл. 1.

Все исследуемые образцы АУ соответствуют требованиям ГОСТ 6217 для древесных активных дробленых углей по адсорбционной активности по йоду и ГОСТ 4453 для активных осветляющих углей по метиленовому синему.

Результаты свидетельствуют, что все экспериментальные АУ характеризуются сравнительно высокой сорбционной активностью как по йоду, так и по метиленовому синему в сравнении с промышленным АУ.

Промышленный образец продемонстрировал достаточно низкие сорбционные свойства по йоду – 72 % и 270,8 мг/г по метиленовому синему.

Наибольшая сорбционная активность по йоду, характеризующая содержание микропор, наблюдается у АУ из березы – 103,2 % и АУ из осины – 102,3 %, в связи с этим АУ из данных пород древесины могут быть рекомендованы для сорбции низкомолекулярных соединений.

Сравнительно высокая сорбционная активность по метиленовому синему, характеризующая

содержание мезопор, также наблюдается у АУ из древесины березы (370 мг/г) и осины (371 мг/г). В результате этого для сорбции среднемолекулярных соединений также рекомендованы АУ из древесины березы и осины.

Активный уголь, полученный из сосны, в сравнении с березовым и осиновым АУ обладает пониженной сорбционной активностью и по йоду, и по метиленовому синему. Однако максимальные

значения адсорбционной активности по йоду (95,6 %) и по метиленовому синему (343 мг/г) превышают значения промышленного АУ и соответствуют требованиям нормативных документов (Исследование возможности..., 2010).

Далее нами исследованы процессы адсорбции танина полученными экспериментальными активными углами. На рис. 1 приведены изотермы сорбции.

Таблица 1
Table 1

Адсорбционные характеристики промышленного и экспериментальных активных углей
Adsorption characteristics of industrial and experimental activated carbons

Образец угля Sample of carbone	Адсорбционная активность по йоду, % Adsorption activity by iodine, %	Осветляющая способность по метиленовому синему, мг/г Brightening capacity of methylene blue, mg/g
Промышленный уголь марки CARBOCLEAN-SUN-V (УралХимСорб) Industrial carbon CARBOCLEAN-SUN-V (Ural Chemical Sorbent)	72,0	270,8
Березовый активный уголь Birch activated carbon	103,2	370,0
Осиновый активный уголь Aspen activated carbon	102,3	371,0
Сосновый активный уголь Pine activated carbon	95,6	343,0

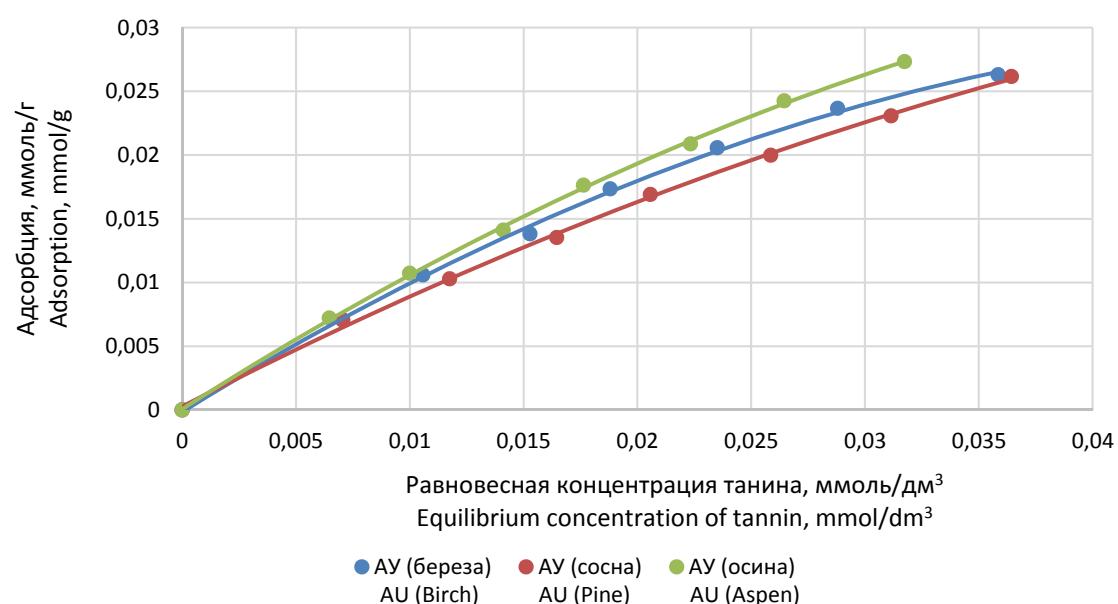


Рис. 1. Изотермы сорбции танина экспериментальными углами
Fig. 1. Isotherms of tannin sorption by experimental carbons

Изотермы сорбции танина экспериментальными углами демонстрируют максимальную активность осинового АУ, менее эффективным является АУ из березы, наименьшие значения – при обработке осиновым АУ.

Видно, что начальная часть изотерм характеризуется достаточно высокой крутизной, что свидетельствует о высокой сорбционной емкости всех углей при низких концентрациях танина.

По мере увеличения концентрации танина в растворе скорость сорбции замедляется и изотерма приближается к горизонтальной асимптоте, что соответствует насыщению сорбционных центров на угле (Кунце, 2001).

Результаты обработки данных по моделям адсорбции показали, что наиболее адекватно про-

цесс описывают модели Ленгмюра и Фрейндлиха. На рис. 2 и 3 приведены графики моделей Ленгмюра и Фрейндлиха для процесса сорбции танина березовым АУ.

На рис. 4 и 5 приведены графики моделей Ленгмюра и Фрейндлиха для процесса сорбции танина осиновым АУ.

На рис. 6 и 7 приведены графики моделей Ленгмюра и Фрейндлиха для процесса сорбции танина сосновым АУ.

Из графиков видно, что полученные уравнения характеризуются достаточно высокими коэффициентами аппроксимации, составляющими более 0,99 для всех используемых углей.

В табл. 2 приведены рассчитанные значения констант сорбции танина исследуемыми углами.

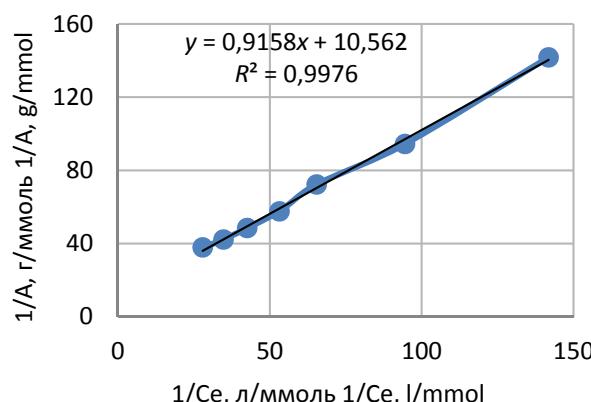


Рис. 2. Модель Ленгмюра для сорбции танина березовым АУ

Fig. 2. Langmuir model for tannin sorption by birch AC

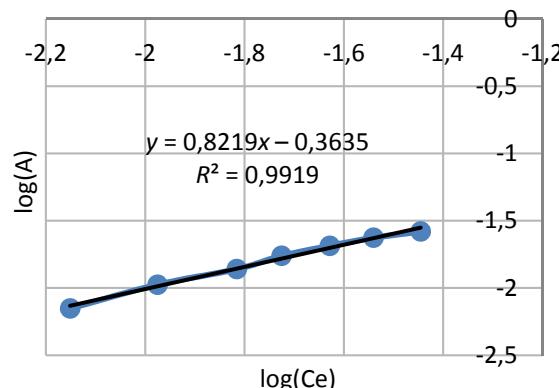


Рис. 3. Модель Фрейндлиха для сорбции танина березовым АУ

Fig. 3. The Freundlich model for tannin sorption by birch AC

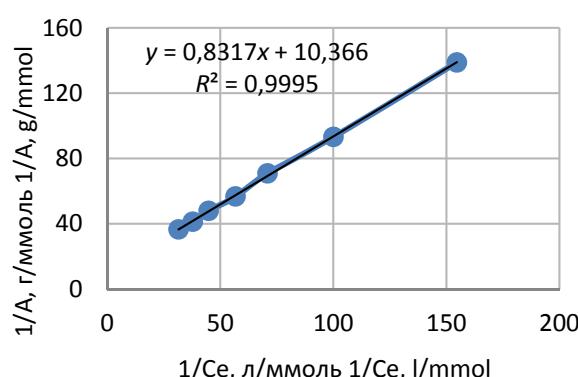


Рис. 4. Модель Ленгмюра для сорбции танина осиновым АУ

Fig. 4. Langmuir model for tannin sorption by aspen AC

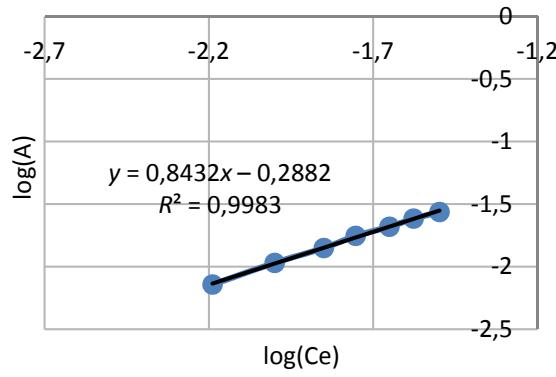


Рис. 5. Модель Фрейндлиха для сорбции танина осиновым АУ

Fig. 5. The Freundlich model for the sorption of tannin by aspen AC

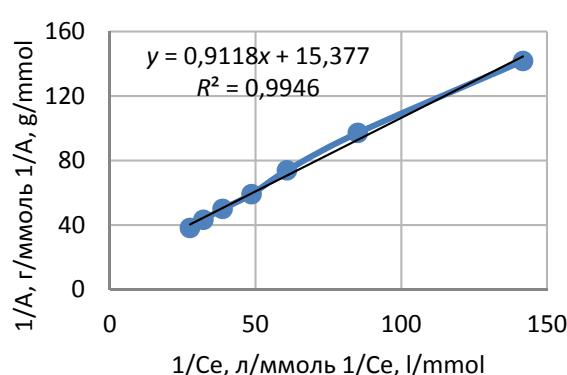


Рис. 6. Модель Ленгмюра для сорбции танина сосновым АУ

Fig. 6. Langmuir model for tannin sorption by pine AC

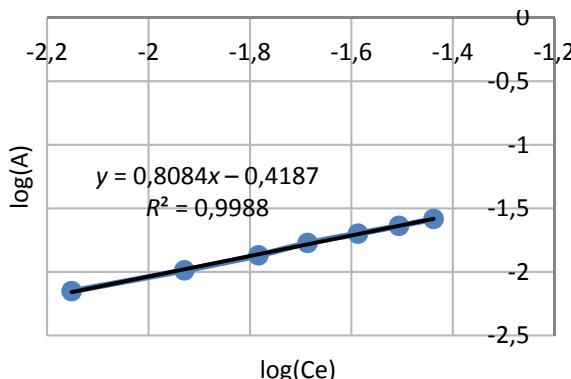


Рис. 7. Модель Фрейндлиха для сорбции танина сосновым АУ

Fig. 7. The Freundlich model for tannin sorption by pine AC

Таблица 2
Table 2

Рассчитанные значения констант сорбции танина исследуемыми углами

Calculated values of tannin sorption constants by the researched carbon

Образец АУ Sample AC	Предельная сорбция A_{∞} , ммоль/г Maximum sorption A_{∞} , mmol/g	Константа Ленгмюра K_L Langmuir's constant K_L	Коэффициент разделения R_L Separation coefficient R_L	Константы Фрейндлиха Freundlich constants	
				K_F	n
Березовый Birch	0,095	11,53	0,38	0,43	0,82
Сосновый Pine	0,065	16,86	0,29	0,38	0,81
Осиновый Aspen	0,096	12,46	0,36	0,51	0,84

Как известно, высокие значения предельной сорбции и низкие значения константы Ленгмюра характерны для сорбентов с высокой активностью. Полученные результаты свидетельствуют, что максимальной предельной адсорбцией характеризуются осиновый и березовый АУ. При использовании соснового АУ предельная сорбция заметно ниже. Положительные значения коэффициента разделения доказывают, что условия сорбции благоприятны для всех исследуемых АУ (Михеева и др., 2013).

Константа Фрейндлиха K_F , характеризующая сорбционную способность, имеет наибольшее значение для осинового угля, немного ниже у березового, самое низкое значение – для соснового АУ.

Константа n , оценивающая интенсивность взаимодействия сорбента с адсорбатом, свидетель-

ствует, что по мере заполнения поверхности энергия связей возрастает для всех испытуемых АУ (Панова, 2020).

Рассчитанные показатели энергии Гиббса приведены в табл. 3.

Отрицательные значения энергии Гиббса свидетельствуют о самопроизвольном протекании процесса адсорбции танина на всех исследуемых АУ. Значения энергии Гиббса показывают, что сосновый уголь характеризуется сравнительно большей скоростью процесса сорбции, связанной с наличием развитой структуры транспортных пор.

Для изучения возможности использования активных древесных углей для повышения коллоидной стойкости пива изучено их влияние на степень извлечения полифенолов при обработке пива (Панова и др., 2022).

Таблица 3
Table 3

Показатели энергии Гиббса для исследуемых образцов АУ
Gibbs energy indicators for the researched AC samples

Образец АУ AC Sample	Энергия Гиббса, ΔG , Дж/моль Gibbs Energy, ΔG , Дж/моль
Березовый Birch	–6058
Сосновый Pine	–6999
Осиновый Aspen	–6250

Нефильтрованное пиво обрабатывалось промышленным углем и углами, полученными из древесины березы, сосны и осины. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что степень извлечения высокомолекулярных полифенолов из нефильтрованного пива составляет 22–26 %, что способствует повышению коллоидной стойкости пива.

Таблица 4
Table 4

Влияние обработки пива активными углами на степень извлечения полифенолов
The effect of beer treatment with activated carbons on the degree of polyphenol extraction

Уголь Carbon	Продолжительность сорбции, мин Sorption duration, min	Дозировка АУ, % к массе пива AC dosage, % by weight of beer	Степень извлечения АУ танинов из пива, мг/дм ³ Degree of extraction of tannins from beer, mg/dm ³
Промышленный уголь марки CARBOCLEAN-SUN-V (УралХимСорб) CARBOCLEAN-SUN-V industrial carbon (Uralkhimsorb)	5	0,1	21,9
Березовый АУ Birch AC	5	0,1	25,9
Осиновый АУ Aspen AC	5	0,1	26,4
Сосновый АУ Pine AC	5	0,1	24,7

Выводы

1. Сорбционная активность экспериментальных АУ обусловлена морфологическим строением древесины лиственных и хвойных пород. Распределение анатомических элементов и структурная организация лигноуглеводной матрицы оказывают влияние на формирование пористости и удельной поверхности АУ. Оптимизация технологических режимов пиролиза и активации позволяет целенаправленно изменять физико-химические характеристики АУ, повышая эффективность их сорб-

ционных свойств применительно к конкретным целям использования.

2. Наилучшими сорбционными свойствами и максимальной предельной адсорбцией по извлечению танина характеризуются осиновой и березовой АУ.

3. Отрицательные значения энергии Гиббса свидетельствуют о самопроизвольном протекании процесса адсорбции танина на всех исследуемых АУ. На основании исследования термодинамических свойств углей можно сделать вывод

о том, что на процессы адсорбции танинов активными углами в большей мере влияют диффузионные процессы.

4. Максимальная степень извлечения полифенолов из пива наблюдается при использовании АУ из осины, что объясняется его высокой пористостью и большой площадью поверхности по-

сле применения оптимальных режимов пиролиза и активации, следовательно, сравнительно наибольшей сорбционной активностью.

5. Таким образом, на эффективность процесса сорбции оказывают влияние не только параметры получения АУ, но и используемая порода древесины.

Список источников

- Гаврилова Н. Н., Назаров В. В. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных : учеб. пособие. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. 132 с.*
- ГОСТ 6217–74. Уголь древесный активный дробленый. Технические условия : Межгосударственный стандарт. М. : Изд-во стандартов, 1974. 8 с.*
- Исследование возможности применения древесного угля для стабилизации пива / Ю. Л. Юрьев, Т. М. Панова, Н. А. Дроздова, К. Ю. Тропина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. № 5. С. 120–124.*
- Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. Л. : Химия, 1984. 216 с.*
- Кунце В. Технология солода и пива : пер. с нем. СПб. : Профессия, 2001. 912 с.*
- Михеева Е. В., Пикула Н. П., Асташкина А. П. Коллоидная химия. Томск : Томск. политехн. ун-т, 2013. 184 с.*
- ОСТ 4453–74. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия : Межгосударственный стандарт. М. : Изд-во стандартов, 1976. 23 с.*
- Панова Т. М. Получение и применение модифицированных древесных углей в технологии пивоварения : дис. ... канд. техн. наук / Панова Татьяна Михайловна. Екатеринбург, 2020. 153 с.*
- Панова Т. М., Евдокимова Е. В., Мальцев Г. И. Применение продуктов пиролиза древесины в биотехнологии // Деревообрабатывающая промышленность. 2022. № 4. С. 84–88.*

References

- Gavrilova N. N., Nazarov V. V. Analysis of porous structure based on adsorption data : textbook manual. Moscow : D. I. Mendeleev Russian Technical Technical University, 2015. 132 p.*
- GOST 6217–74. Active crushed charcoal. Technical specifications : Interstate standard. Moscow : Publishing House of Standards, 1974. 8 p.*
- Investigation of the possibility of using charcoal to stabilize beer / Yu. I. Yuryev, T. M. Panova, N. A. Drozdova, K. Yu. Tropina // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2010. № 5. P. 120–124. (In Russ.)*
- Kienle X., Bader E. Activated carbons and their industrial applications. Leningrad : Chemistry, 1984. 216 p.*
- Kunze V. Technology of malt and beer : translated from German. St. Petersburg : Profession, 2001. 912 p.*
- Mikheeva E. V., Pikula N. P., Astashkina A. P. Colloidal chemistry. Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2013. 184 p.*
- OST 4453–74. Active lightening charcoal, powdered wood. Technical specifications : Interstate standard. Moscow : Publishing House of Standards, 1976. 23 p.*
- Panova T. M., Evdokimova E. V., Maltsev G. I. Application of wood pyrolysis products in biotechnology // The woodworking industry. 2022. № 4. P. 84–88. (In Russ.)*
- Panova T. M. Production and application of modified charcoal in brewing technology : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Panova Tatiana Mikhailovna. Yekaterinburg, 2020.153 p.*

Информация об авторах

*Татьяна Михайловна Панова – кандидат технических наук,
panovatm@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-82290-3606>*

*Оксана Дмитриевна Авдюкова – аспирант,
avdyukovaod@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0742-3455>*

*Ильдар Касимович Гиндулин – кандидат технических наук,
gindulinik@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3249-3228>*

*Арина Валерьевна Суховеева – студент,
av.suhoveeva@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0005-1895-1650>*

*Дарья Александровна Зверева – студент.
dshz456@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5033-2044>*

Information about the authors

*Tatyana M. Panova – Candidate of Technical Sciences,
panovatm@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-82290-3606>*

*Oksana D. Avdyukova – Graduate student,
avdyukovaod@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0742-3455>*

*Ildar K. Gindulin – Candidate of Technical Sciences,
gindulinik@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3249-3228>*

*Arina V. Sukhoveeva – student,
av.suhoveeva@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0005-1895-1650>*

*Darya A. Zvereva – student.
dshz456@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5033-2044>*

Статья поступила в редакцию 30.07.2025; принята к публикации 15.09.2025.

The article was submitted 30.07.2025; accepted for publication 15.09.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 157–164.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 157–164.

Научная статья
УДК 674.812-824
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ КЛЕЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАНЕРЫ

А. О. Абрамовских¹, М. В. Газеев², С. В. Щепочкин³,
О. Ф. Шишлов⁴, К. В. Носоновских⁵

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

Автор, ответственный за переписку: Газеев Максим Владимирович,
gazeev@usfeu.ru

Аннотация. В статье рассматривается введение в клей наполнителя, полученного из отходов фанерного производства, который позволяет уменьшить расход клея и придать нужные технологические свойства kleеной слоистой продукции из древесины и, как следствие, снизить себестоимость ее изготовления. Наполнитель клея получили путем измельчения обрезков фанеры в рубительной машине до состояния древесной игольчатой щепы, затем в мельнице до фракции древесной муки. Исследования позволили установить влияние количества и фракционного состава вводимого в клей наполнителя на прочностные показатели получаемой фанеры. Результаты исследования подтверждают предположения, что получаемый из отходов фанерного производства наполнитель может быть применен для замены древесной муки и мела, так как из-за схожего фракционного состава он по свойствам сопоставим с древесной мукой, а из-за наличия отверженной смолы в наполнителе – с мелом, что позволяет произвести продукцию с высокими физико-механическими характеристиками, решает вопросы утилизации отходов, сохраняет окружающую среду с получением экономического эффекта от внедрения наполнителя в промышленных масштабах. Созданная фанера может применяться в строительстве, при возведении опалубки, деревянных конструкций, полов, крыш, заборов, стеновых панелей; при производстве транспортных средств для изготовления грузовых и легковых автомобилей, автобусов и прицепов; в производстве рекламных щитов и билбордов; в производстве упаковки, для транспортировки различных товаров; в производстве мебели для изготовления шкафов, столов, стеллажей, т. е. тех изделий, к которым предъявляются определенные требования к качеству используемых материалов.

Ключевые слова: фанера, наполнитель, клей, прочность скальвания

Для цитирования: Исследование влияния наполнителя клея на физико-механические свойства фанеры / А. О. Абрамовских, М. В. Газеев, С. В. Щепочкин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 157–164.

Original article

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE GLUE FILLER ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLYWOOD

Alexander O. Abramovskikh¹, Maxim V. Gazeev², Sergey V. Shchepochkin³,
Oleg F. Shishlov⁴, Kirill V. Nosonovskich⁵

¹⁻⁵ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Maxim V. Gazeev,
gazeevmv@usfeu.ru

Abstract. The article discusses the introduction of filler into glue obtained from plywood production waste, which allows to reduce glue consumption and gives the necessary technological properties to glued laminated wood products and, as a result, reduce the cost of its manufacture. The glue filler was obtained by crushing plywood scraps in a chopping machine to the state of wood needle chips, then in a mill to a fraction of wood flour. The research has made it possible to establish the influence of the amount and fractional composition of the filler introduced into the glue on the strength characteristics of the plywood obtained. The results of the research confirm the assumptions that the filler obtained from plywood production waste can be used to replace wood flour and chalk, since due to its similar fractional composition, it is comparable in properties to wood flour, and due to the presence of cured resin in the filler, to chalk, thereby allowing to obtain products with high physical and mechanical characteristics, while solving the issues of waste disposal, preserving the environment, and obtaining an economic effect from the introduction of filler on an industrial scale. The resulting plywood can be used in construction, in the construction of formwork, wooden structures, floors, roofs, fences, wall panels. It can also be used in the production of vehicles, including trucks, cars, buses, and trailers. It can also be used in the production of advertising boards and billboards. It can also be used in packaging for transporting various goods. It can also be used in furniture manufacturing, for the manufacture of cabinets, tables, and shelving—in other words, for products that require specific quality requirements for the materials used.

Keywords: plywood, filler, glue, shear strength

For citation: Investigation of the influence of the glue filler on physical and mechanical properties of plywood / A. O. Abramovskikh, M. V. Gazeev, S. V. Shchepochkin [et al.] // Forests of Russia and economy of them. 2025. № 4 (95). P. 157–164.

Введение

На деревоперерабатывающих предприятиях при утилизации отходов применяют различное технологическое оборудование для их измельчения и дальнейшей переработки, такое как, например, рубительные машины, мельницы и т. п. В большинстве случаев после измельчения древесных отходов их используют для получения брикетов или древесных гранул. В процессе производства фанеры на различных технологических операциях образуются отходы, как, например, на этапе об-

резки листов фанеры по формату на круглопильных станках после склеивания остается обрезь. Правильное и эффективное использование отходов позволяет приблизить технологический процесс производства продукции к безотходному, что улучшает экологическую обстановку и открывает возможность получения дополнительной прибыли для предприятия. Переработка отходов путем их измельчения до фракции древесной муки позволит осуществить их дальнейшую реализацию. Например, можно предположить, что древесную муку

из отходов обрезки фанеры можно применять как наполнитель клея путем замены древесной муки и мела (Иржигитова и др., 2023). Это способствует получению продукции с высокими физико-механическими характеристиками.

Цель, объекты и методики исследований

Цель работы – исследовать влияние древесного наполнителя клея, получаемого на основе отходов фанерного производства, на физико-механические свойства фанеры.

Для достижения цели решали следующие задачи.

1. Измельчение отходов, получаемых на этапе обрезков фанеры, в технологическую щепу с последующим доизмельчением до фракции древесной муки.
2. Ситовый анализ полученного наполнителя (древесной муки) на основе отходов путем разделения по фракциям.
3. Приготовления клея на основе смолы КФ-МТ с введением наполнителя различного фракционного состава, полученного на основе отходов.
4. Склейивание фанеры с применением разработанной рецептуры клея с различным количеством и фракционным составом наполнителя.
5. Исследование влияния адгезионной прочности полученных образцов фанеры в зависимости от количества и фракционного состава наполнителя клея.



Рис. 1. Молотковая мельница «ЗУБР-1С»
Fig. 1. Hammer mill “ZUBR-1C”

В процессе проведения эксперимента для измельчения обрезков фанеры использовали молотковую мельницу «ЗУБР-1С» (рис. 1) и специальный дезинтегратор тонкого помола для твердых материалов 2000g Multi function disintegrator (рис. 2) (Абрамовских и др., 2025).

Ситовый анализ полученной древесной муки производили при помощи набора сит (рис. 3) (Абрамовских и др., 2024а). Для этого древесную муку помещали в верхнее сито с размером ячейки 0,75 мкм, под ним сито 0,6 мкм, ниже 0,43 мкм и 0,25 мкм (рис. 4). В итоге получили древесную муку из отходов фанеры фракционного состава от 0,75 мкм до древесной пыли (Абрамовских и др., 2024б).

Расход клея и массу вводимого в него наполнителя контролировали с помощью электронных весов ЕК-400Н. Для склеивания фанеры применяли шпон березовый толщиной 1,2 мм, на который вальцовным способом наносили клей на основе смолы КФ-МТ (ТУ 2223-360-00203447-99, производства Уралхимпласт) с введением полученного на основе обрезков фанеры (Наполнители и их влияние..., 2023) наполнителя в количестве 2, 4 и 6 %. Сборку пакета шпона с нанесенным клеем осуществляли согласно правилам сборки (рис. 5), (Ковальчук, 1979), а прессование фанеры производили на горячем прессе ПД-476.

Склейенную фанеру оценивали по физико-механическим показателям согласно ГОСТ 9624–2009 для испытаний на разрывной машине МР-0,5.



Рис. 2. Измельченные в молотковой мельнице
обрезки фанеры
Fig. 2. Plywood clippings crushed in a hammer mill



Рис. 3. Дезинтегратор тонкого помола
2000g Multi function disintegrator
Fig. 3. Fine grinding disintegrator
2000g Multi function disintegrator



Рис. 4. Сита: слева – для разделения древесной муки на фракционный состав, справа – полученные фракции древесной муки 0,6 и 0,25 мкм
Fig. 4. Sieves: on the left – for separating wood flour into fractional composition, on the right – the obtained fractions of wood flour 0,6 and 0,25 microns

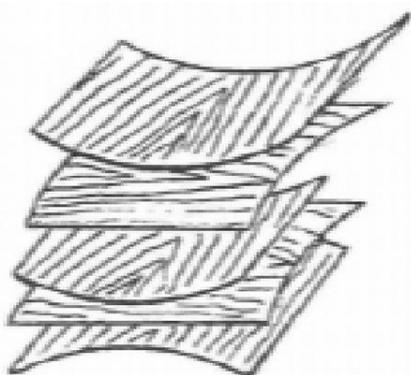


Рис. 5. Схема сборки пакета с нечетным количеством листов шпона (взаимно перпендикулярное направление волокон древесины)
Fig. 5. Assembly scheme of a package with an odd number of veneer sheets (mutually perpendicular to the direction of the wood fibers)

Для этого из фанеры выпиливали специальные образцы (рис. 6, 7). Склейивание фанеры выполняли при типовом технологическом режиме: $t = 115 \dots 120^\circ\text{C}$, $P = 1,8 \dots 2,0 \text{ МПа}$, $\tau = 4,5 \dots 6,0 \text{ мин}$, $\tau_{\text{сн}} = 1,5 \text{ мин}$.

В результате были проведены исследования предела прочности фанеры, получаемой при склеивании с различным фракционным составом и количеством наполнителя, а для определения зависимости была выбрана фракция наполнителя 0,6 мкм, так как на основании предварительно проведенных опытов она лучше всего подходит для введения в клей.

Для данного фракционного состава наполнителя провели исследование зависимости введения в клей количества наполнителя от 2 до 6 %. Исследования проводились для пяти повторений опыта, и в результате статистической обработки данных получено уравнение регрессии

$$y = 0,102x^2 - 1,095x + 0,07, \quad (1)$$

адекватно описывающее влияние введенного в клей наполнителя фракционного состава 0,6 на прочность фанеры при скальвании, с величиной достоверности $R^2 = 0,85$. Результаты исследования прочности фанеры на скальвание в зависимости от количества наполнителя в клее представлены на графике (рис. 8).

Исследования прочности фанеры на скальвание в зависимости от количества наполнителя после ее выдержки в воде в течение 24 ч проводились для пяти повторений опыта. В результате статистической обработки данных получено уравнение регрессии

$$y = 0,049x^2 - 0,35x + 1,49, \quad (2)$$

адекватно описывающее влияние введенного в клей наполнителя фракционного состава 0,6 на прочность фанеры при скальвании, с величиной достоверности $R^2 = 1$.

На рис. 9 представлен график данной зависимости.



Рис. 6. Склейенная фанера и образцы для определения предела прочности фанеры при скальвании

Fig. 6. Glued plywood and samples for determining the shear strength of plywood



Рис. 7. Испытательная машина (слева) и приспособление (справа) для определения предела прочности фанеры при скальвании:

1 – образец, 2 – упорная планка, 3 – планка, 4 – захват; 5 – упор, 6 – траверса; 7 – испытательные губки

Fig. 7. Testing machine (left) and device (right) for determining the shear strength of plywood:
1 – sample, 2 – thrust bar, 3 – bar, 4 – log dog, 5 – plane frog, 6 – traverse, 7 – test sponges

В результате исследования влияния наполнителя на прочностные свойства фанеры можно предположить гипотетический механизм влияния влаги на клеевой слой (рис. 10).

Вероятно, введенный в клей наполнитель (измельченные обрезки фанеры) фракции 0,6 мкм в количестве 6 % при воздействии воды набухает в поверхностном слое и препятствует дальнейшему прониканию влаги внутрь клеевого шва. Как следствие, наблюдаем наибольшую адгезию наполненного клея с листами шпона.

Анализируя полученные графические зависимости на рис. 9, можно предположить, что при введении 2 % наполнителя большую часть клеевого слоя составляет клей, который, набрав прочность, сопротивляется проникающему воздействию влаги.

Количество наполнителя 4 % недостаточно для проникновения влаги внутрь клеевого шва, как и недостаточно клея, который, набрав прочность, препятствовал бы проникновению влаги, поэтому мы наблюдаем снижение прочности фанеры.

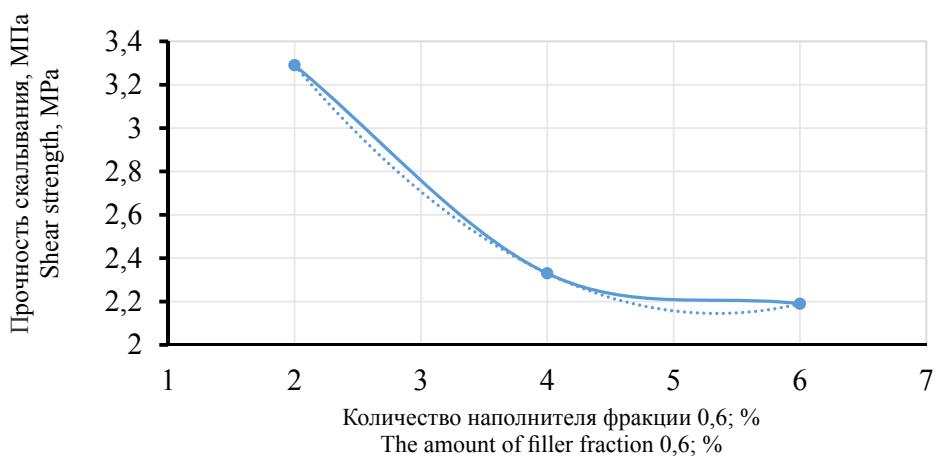


Рис. 8. График зависимости прочности фанеры на скальвание от количества введенного в клей наполнителя

Fig. 8. Graph of the dependence of plywood shear strength on the amount of filler introduced into the glue

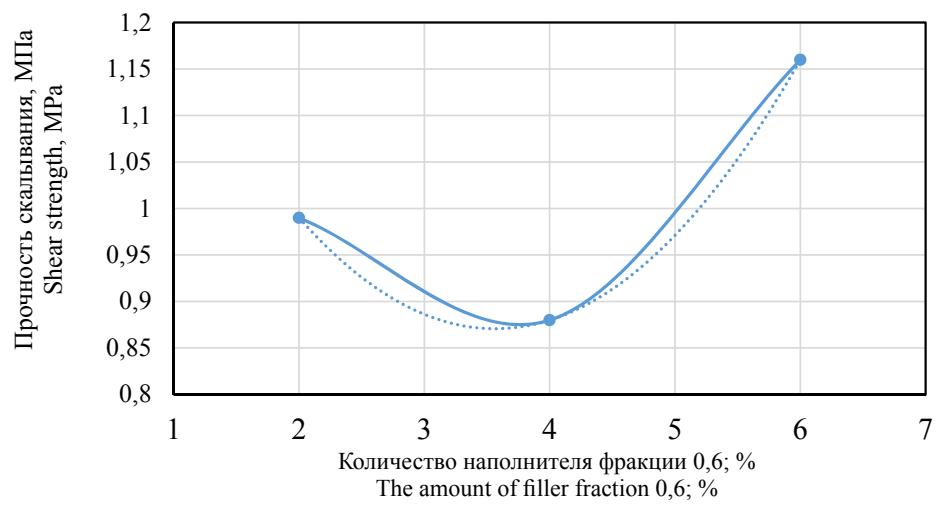


Рис. 9. График зависимости прочности фанеры на скальвание от количества введенного в клей наполнителя (для фанеры, предварительно выдержанной 24 ч в эксикаторе с водой)

Fig. 9. Graph of the dependence of plywood shear strength on the amount of filler introduced into the glue (for plywood previously kept for 24 hours in a desiccator with water)

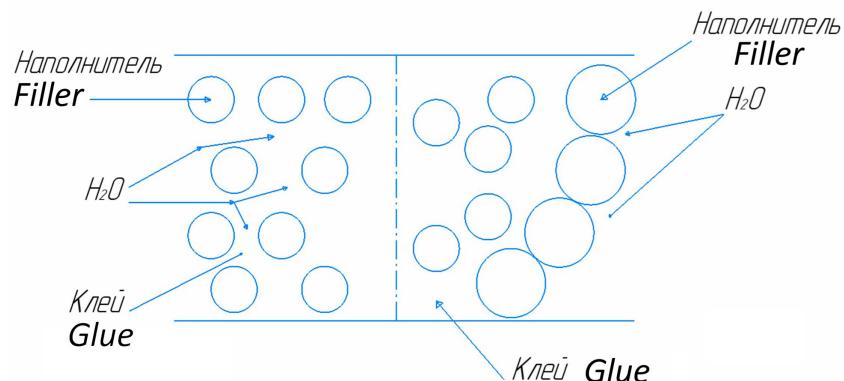


Рис. 10. Гипотетический механизм проникновения влаги в клеевой слой фанеры

Fig. 10. Hypothetical mechanism of moisture penetration into the plywood adhesive layer

Выводы

1. При применении наполнителя для фанеры, выдержанной в эксикаторе с водой, в небольших количествах (0,6 мкм, 2 %) наблюдается наибольший набор прочности образцов фанеры, что свидетельствует о хорошей адгезии клея с листами березового шпона.

2. Наибольшую прочность на скальвание выдержанная в воде фанера набирает при 6 % наполнителя фракцией 0,6. При количестве наполнителя этой фракции 4 % адгезионная прочность

с поверхностью шпона наименьшая. Происходит набухание частиц наполнителя, смолы клея и, как следствие, ухудшение адгезии.

3. Следует учесть и тот фактор, что при склеивании листов шпона использовался клей КФ-МТ, который имеет ограниченную водостойкость.

4. Для подтверждения объяснения гипотетического механизма взаимодействия влаги с клеевым слоем и адгезионной прочности необходимо дальнейшее проведение исследований.

Список источников

- Абрамовских А. О., Газеев М. В., Чернышев О. Н. Снижение стоимости производства фанеры на этапе склеивания // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : матер. XIX Междунар. евразийского симпозиума, Екатеринбург, 18–20 сентября 2024 года. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2024а. С. 125–129.
- Абрамовских А. О., Потапов И. А., Газеев М. А. Наполнитель на основе древесных отходов фанерного производства // Вестник науки. 2024б. № 12 (81). Т. 2. С. 1409–1415.
- Абрамовских А. О., Потапов И. А., Газеев М. В. Влияние наполнителя на краевой угол смачивания карбамидоформальдегидной смолы // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XXI Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. Екатеринбург, 2025. С. 481–486.
- ГОСТ 962–2009. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при складывании : Межгосударственный стандарт. М. : Стандартинформ, 2010. 14 с.
- Иржигитова С. М., Яцун И. В., Чернышев О. Н. Влияние наполнителей на свойства клеев при изготавлении клееных деревянных конструкций // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XIX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. Екатеринбург, 2023. С. 412–416.
- Ковальчук Л. М. Производство деревянных клееных конструкций. М. : Лесн. пром-сть, 1979. 216 с.
- Наполнители и их влияние на свойства клеевых систем / О. Н. Чернышев, Е. С. Синегубова, С. М. Иржигитова, А. А. Артюшина // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : матер. XVII Междунар. евразийского симпозиума. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. С. 80–84.
- ТУ 2413-357-00203447-99. КФ-МТ. URL: <http://elektroximsnab.ru/promyshlennaja-himija/lakokrasochnye-materialy-i-syre/155-polijetilenpoliaminy?format=pdf> (дата обращения: 03.06.2025).

References

- Abramovskikh A. O., Gazeev M. V., Chernyshev O. N. Reducing the cost of plywood production at the gluing stage // Woodworking : technologies, equipment, management of the XXI century : Proceedings of the XIX International Eurasian Symposium, Yekaterinburg, September 18–20, 2024. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2024a. P. 125–129. (In Russ.)
- Abramovskikh A. O., Potapov I. A., Gazeev M. A. Filler based on wood waste from plywood production // Bulletin of Science. 2024б. Vol. 2, № 12 (81). P. 1409–1415. (In Russ.)
- Abramovskikh A. O., Potapov I. A., Gazeev M. V. The effect of filler on the marginal wetting angle of carbamide-formaldehyde resin // Scientific creativity of youth to the Russian forest complex : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates. Yekaterinburg, 2025. P. 481–486. (In Russ.)

Fillers and their effect on the properties of adhesive systems / *O. N. Chernyshev, E. S. Sinegubova, S. M. Irzhigitova, A. A. Artyushina* // Woodworking : technologies, equipment, management of the XXI century : proceedings of the XVII International Eurasian Symposium. Yekaterinburg : USFEU, 2023. P. 80–84. (In Russ.)

GOST 962–2009. Laminated glued wood Method for determining the ultimate strength during chipping : Interstate standard / M. : Standartinform, 2010. 14 p.

Irzhigitova S. M., Yatsun I. V., Chernyshev O. N. The influence of fillers on the properties of adhesives in the manufacture of glued wooden structures // Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia : materials of the XIX century All-Russian (national) scientific and technical conference of students and postgraduates. Yekaterinburg, 2023. P. 412–416. (In Russ.)

Kovalchuk L. M. Production of wooden glued structures. Moscow : Forest industry, 1979. 216 p.

Lukash A. A. Technology of glued materials. St. Petersburg : Lan, 2014. 144 p.

Technical specifications 2413-357-00203447-99. CF-MT. URL: <http://elektroximsnab.ru/promyshlennaja-himija/lakokrasochnye-materialy-i-syre/155-polijetilenpoliaminy?format=pdf> (accessed 03.06.2025).

Информация об авторах

Александр Олегович Абрамовских – студент,
nosonovskih@m.usfeu.ru

Максим Владимирович Газеев – доктор технических наук, доцент,
gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

Олег Федорович Шишлов – доктор технических наук, профессор,
o.shishlov@ucp.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4656-5969>

Сергей Владимирович Щепочкин – кандидат технических наук,
shchepochkinsv@m.usfeu.ru

Кирилл Васильевич Носоновских – ассистент кафедры.
kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

Information about the authors

Alexander O. Abramovskikh – student,
nosonovskih@m.usfeu.ru

Maxim V. Gazeev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
gazeevmv@usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3698-1707>

Oleg F. Shishlov – Doctor of Technical Sciences, Professor,
o.shishlov@ucp.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4656-5969>

Sergey V. Shchepochkin – Candidate of Technical Sciences,
shchepochkinsv@m.usfeu.ru

Kirill V. Nosonovskikh – Assistant Professor of the Department of Mechanical wood processing.
kirya.nosonovskikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5357-2104>

Статья поступила в редакцию 04.06.2025; принята к публикации 24.07.2025.

The article was submitted 04.06.2025; accepted for publication 24.07.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 165–171.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 165–171.

Научная статья

УДК 678.674.32:535.34:621.3.038.78

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.016

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЦЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ПЛЕНОК ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Н. С. Штабнов¹, Р. А. Вазиров², М. Е. Котельников³,
А. Е. Шкуро⁴, В. Г. Бурындина⁵

^{1, 4, 5} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

^{2, 3} Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Евгеньевич Шкуро,
shkuroae@m.usfeu.ru

Аннотация. Актуальные проблемы радиационного контроля, обеспечения радиационной безопасности и дозиметрии диктуют необходимость создания надежных, высокочувствительных и экономически целесообразных датчиков ионизирующего излучения. В настоящем исследовании изучено влияние ионизирующего излучения на оптические свойства пленок из ацетата целлюлозы (АЦ) для оценки их применимости в радиационной дозиметрии. Образцы были облучены электронным пучком (10 МэВ) в диапазоне поглощенных доз 10–90 кГр. Анализ спектров поглощения выявил два выраженных максимума при 260 и 305 нм, интенсивность которых коррелирует с дозой. Регрессионный анализ показал квадратичную зависимость оптической плотности от дозы: в интервале 10–50 кГр наблюдается снижение оптической плотности, тогда как при 50–90 кГр – ее увеличение. Установлено, что изменения при дозах < 50 кГр статистически не значимы. Механизмы трансформации свойств связаны с радиационно-индуцированной деструкцией макромолекул АЦ (разрыв цепей, образование радикалов, карбонильных групп и газов), а также накоплением дефектов и сопряженных связей в полимерной матрице. Снижение оптической плотности в низкодозовой области объясняется ростом степени кристалличности АЦ, а ее увеличение при высоких дозах – накоплением продуктов деструкции. Результаты подтверждают высокую радиационную чувствительность материала и его потенциал в качестве экологичного, биосовместимого и экономически эффективного чувствительного элемента для дозиметров, особенно в диапазоне доз > 50 кГр. Использование возобновляемого полимера решает задачи устойчивого развития и расширяет возможности радиационного мониторинга.

Ключевые слова: пленки, поглощенная доза, оптическая плотность, ацетат целлюлозы, ионизирующее излучение

Благодарности: авторский коллектив выражает благодарность Т. А. Захаровой за помощь в обработке и интерпретации экспериментальных данных.

Для цитирования: Исследование оптических свойств ацетилцеллюлозных пленок после облучения электронным пучком / Н. С. Штабнов, Р. А. Вазиров, М. Е. Котельников [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 165–171.

Original article

RESEARCH OF OPTICAL PROPERTIES OF ACETYLCELLULOSE FILMS AFTER ELECTRON BEAM IRRADIATION

**Nikita S. Shtabnov¹, Ruslan A. Vazirov², Maxim E. Kotelnikov³,
Alexey E. Shkuro⁴, Victor G. Buryindin⁵**

^{1, 4, 5} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

^{2, 3} Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Alexey E. Shkuro,
shkuroae@m.usfeu.ru

Abstract. Current problems of radiation control, radiation safety, and dosimetry dictate the need to create reliable, highly sensitive, and cost-effective detectors for ionizing radiation. This research investigates the effect of ionizing radiation on the optical properties of cellulose acetate (CA) films was studied to assess their applicability in radiation dosimetry. Samples were irradiated with a 10 MeV electron beam at absorbed doses of 10–90 kGy. Absorption spectra analysis revealed two distinct maxima at 260 nm and 305 nm, whose intensity correlates with the dose. Regression analysis confirmed a quadratic dependence of optical density on dose: a decrease was observed in the 10–50 kGy range, followed by an increase at 50–90 kGy. Changes below 50 kGy were statistically insignificant. The mechanisms of property transformation are associated with radiation-induced macromolecular destruction CA (chain scission, radical formation, carbonyl groups, gas evolution) and the accumulation of defects/conjugated bonds in the polymer matrix. The initial decrease in optical density is attributed to increased crystallinity CA, while the rise at higher doses stems from accumulated degradation products. The results demonstrate high radiation sensitivity and confirm the potential of CA as an eco-friendly, biocompatible, and cost-effective sensing material for dosimeters, particularly at doses > 50 kGy. The use of this renewable polymer addresses sustainability goals and expands options for radiation monitoring.

Keywords: films, absorbed dose, optical density, cellulose acetate, ionizing radiation

Acknowledgements: The author's team expresses its gratitude to T. A. Zakharova for assistance in processing and interpreting experimental data.

For citation: Research of optical properties of acetylcellulose films after electron beam irradiation / N. S. Shtabnov, R. A. Vazirov, M. E. Kotelnikov [et al.] // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 165–171.

Введение

Современные задачи радиационного контроля, радиационной безопасности и дозиметрии требуют разработки надежных, чувствительных и экономически эффективных детекторов ионизирующего излучения. Среди различных типов детекторов особый интерес представляют полимерные пленки, способные изменять свои физико-химические свойства под действием радиационного облучения (Uses of polymer-alanine..., 1993; Сухих и др.,

2013; Тенишев, 2020; Polymer Film..., 2021). Эти изменения, такие как разрушение макромолекул, сшивка цепей, образование треков и свободных радикалов, могут быть зафиксированы с использованием различных аналитических методов, что делает полимерные материалы удобными для количественной и качественной оценки дозы облучения.

Одним из наиболее изученных и широко применяемых полимеров в данной области является

CR-39 (Optimization of CR-39..., 1999), используемый для регистрации треков тяжелых заряженных частиц. Наряду с ним также активно применяются полиэтилен, поликарбонат, полиметилметакрилат и другие полимеры, демонстрирующие хорошую радиационную стойкость и воспроизводимость дозиметрических характеристик. Простота технологии изготовления, возможность создания многоразовых дозиметров, а также устойчивость к внешним воздействиям обуславливают высокий потенциал применения полимерных детекторов в различных отраслях: от медицинской радиологии до радиационного мониторинга в космическом пространстве.

Тем не менее существующие пленочные детекторы обладают и рядом существенных недостатков (Chaikh и др., 2014). К ним относятся ограниченная чувствительность к мягкому гамма- и рентгеновскому излучению, зависимость отклика от условий окружающей среды (температуры, влажности, УФ-излучения), а также необходимость в сложной или длительной процедуре постобработки (например, химическое травление треков). Кроме того, многие полимерные дозиметры не обеспечивают возможности мгновенного или многократного считывания данных, что ограничивает их применение в задачах реального времени. Все это обуславливает необходимость дальнейших исследований, направленных на улучшение чувствительности, стабильности и удобства эксплуатации таких детекторов.

В связи с этим возрастает актуальность поиска и разработки новых полимерных материалов с улучшенными радиационно чувствительными свойствами. Идеальные кандидаты должны обладать высокой чувствительностью к широкому диапазону излучений, стабильностью в различных условиях окружающей среды, минимальной инерцией отклика и возможностью быстрой регистрации дозы. Кроме того, большое значение имеет совместимость новых полимеров с современными методами аналитики и автоматизированными средствами считывания информации, что особенно важно для задач персонального дозиметрического мониторинга и детекторов следующего поколения.

На фоне растущего внимания к вопросам устойчивого развития и экологической безопасности все большую актуальность приобретает использование возобновляемых природных полимеров в технологически значимых областях, включая радиационную дозиметрию. Одним из перспективных классов таких материалов являются эфиры целлюлозы – производные самого распространенного природного полимера, отличающиеся широким разнообразием структур и свойств.

Эфиры целлюлозы, такие как нитроцеллюлоза, ацетилцеллюлоза (McLaughlin and Ba, 1988; Algethami, 2025), карбоксиметилцеллюлоза и др., обладают рядом характеристик, которые делают их потенциально пригодными для использования в качестве радиационно чувствительных материалов:

- высокая чувствительность к воздействию ионизирующего излучения, проявляющаяся в изменении оптических, механических и электрохимических свойств;
- возможность модификации химического состава и структуры для управления радиационным откликом;
- хорошая пленкообразующая способность и совместимость с различными добавками (индикаторами, стабилизаторами и т. д.);
- экологичность, биосовместимость и биоразлагаемость, что делает их безопасными для использования в медицине и снижает воздействие на окружающую среду при утилизации.

Кроме того, благодаря доступности и низкой стоимости, природные полимеры представляют собой экономически привлекательную альтернативу синтетическим аналогам. Это особенно важно для широкомасштабного применения дозиметров: например в персональной радиационной защите или мониторинге окружающей среды.

Таким образом, использование эфиров целлюлозы и других возобновляемых биополимеров в качестве основы для дозиметрических материалов представляет собой не только научно обоснованное, но и социально значимое направление исследований. Это открывает новые возможности для создания экологичных, чувствительных и недорогих детекторов радиации, соответствующих

современным требованиям к функциональности и устойчивому развитию.

Целью настоящего исследования является изучение влияния поглощенной дозы ионизирующего излучения на оптические свойства пленок, изготовленных из ацетата целлюлозы, для оценки перспективы применения данного материала в качестве радиационно чувствительного элемента в дозиметрии.

Методика и объекты исследования

Для приготовления пленочных образцов использовали ацетат целлюлозы (ТУ 6-05-943-75). В коническую колбу объемом 100 мл помещали навеску полимера массой от 3,00 до 5,00 г, предварительно взвешенную на аналитических весах с точностью $\pm 0,01$ г. К полимеру добавляли ацетон в количестве 42,0–55,0 г, после чего смесь оставляли при комнатной температуре на 24 ч для набухания материала.

По завершении набухания колбу помещали на магнитную мешалку и проводили перемешивание раствора в течение 3–4 ч. Затем в систему вводили этилацетат в количестве, составляющем 25 % от массы использованного ацетона. Перемешивание продолжалось дополнительно в течение 3–5 ч. После этого раствор оставляли в покое на 12 ч. Конечная концентрация раствора эфира целлюлозы составляла 5,5–7,0 % по массе.

Полученный раствор подвергали фильтрованию с целью удаления гелеобразных фракций полимера и последующему вакуумированию для удаления пузырьков воздуха. Очищенный раствор заливали в чашки Петри, при этом толщина пленки регулировалась объемом раствора. Формирование пленок происходило при комнатной температуре в течение 24 ч.

Образцы облучались электронным пучком 10 МэВ согласно следующему плану. Облучение образцов проводилось на линейном ускорителе УЭЛР-10-10С2 (10 МэВ, 13,5 мкс) в Центре радиационной стерилизации УрФУ (г. Екатеринбург). Для определения мощности поглощенной дозы облучения использовались пленочные детекторы СО ПД(Ф)Р-5/50 (ТУ 2379-006-1327176-00).

Измерение оптической плотности пленок производилось на спектрофотометре ПЭ-5400УФ ЭКРОСХИМ (регистрационный номер в Госреестре СИ 44866-10). Погрешность измерения поглощенной дозы составляла не более 7 % при доверительной вероятности 0,95. Варьирование дозы достигалось путем изменения экспозиции облучения. Образцы пленок на основе ацетата целлюлозы подвергались облучению в диапазоне от 10 до 90 кГр. Ввиду наличия геометрической гетерогенности вносились поправка на толщину образцов.

Результаты и их обсуждение

Результаты измерения относительной оптической плотности (отношения оптической плотности к толщине образца) облученных ацетатных пленок представлены на рис. 1.

На представленном спектре поглощения регистрируются два ярко выраженных пика при 260 и 305 нм. Интенсивность поглощения (оптическая плотность) в максимумах этих пиков демонстрирует зависимость от величины поглощенной дозы. В длинноволновой области спектра (> 400 нм) кривые для различных доз совпадают, указывая на отсутствие дозовой зависимости оптических свойств образцов в этом спектральном диапазоне. Однако данное расхождение может быть вызвано отличием геометрии образцов и гетерогенностью, а также временем проведения измерения после облучения (Matsuda and Nagai, 1991).

Для выявления характера зависимости оптической плотности образца от величины поглощенной дозы ионизирующего излучения был проведен регрессионный анализ. По результатам регрессионного анализа получена квадратичная зависимость, показывающая, что в диапазоне от 10 до 50 кГр оптическая плотность образцов уменьшается, а в диапазоне от 50 до 100 кГр увеличивается (рис. 2).

С увеличением поглощенной дозы ионизирующего излучения степень полимеризации ацетата целлюлозы уменьшается, т. е. целлюлоза подвергается деструкции (Ершов, 1998). Она обусловливается как разрывом основной углеводородной цепи, так и образованием радикалов, карбонильных и карбоксильных групп, а также газов (H_2 , CO_2 , CO).

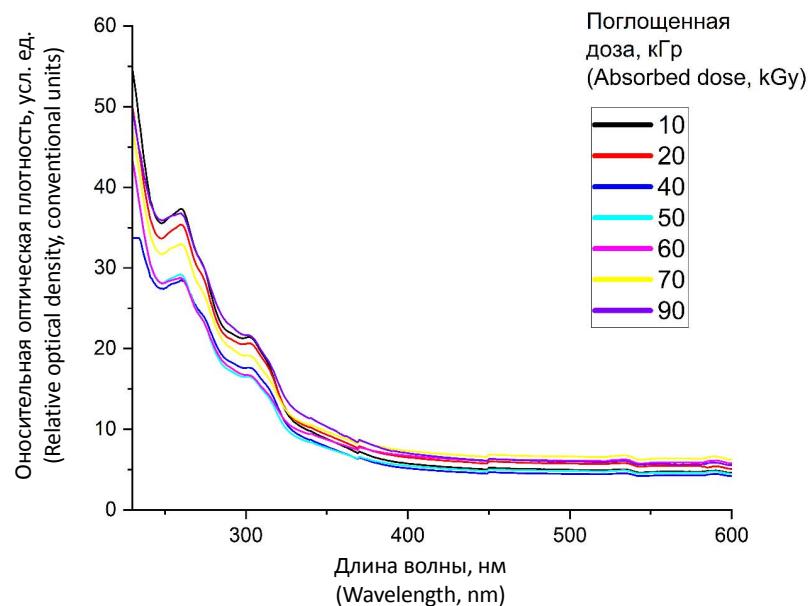


Рис. 1. Спектры поглощения образцов пленок на основе ацетата целлюлозы
Fig. 1. Absorption spectra of film samples based on cellulose acetate

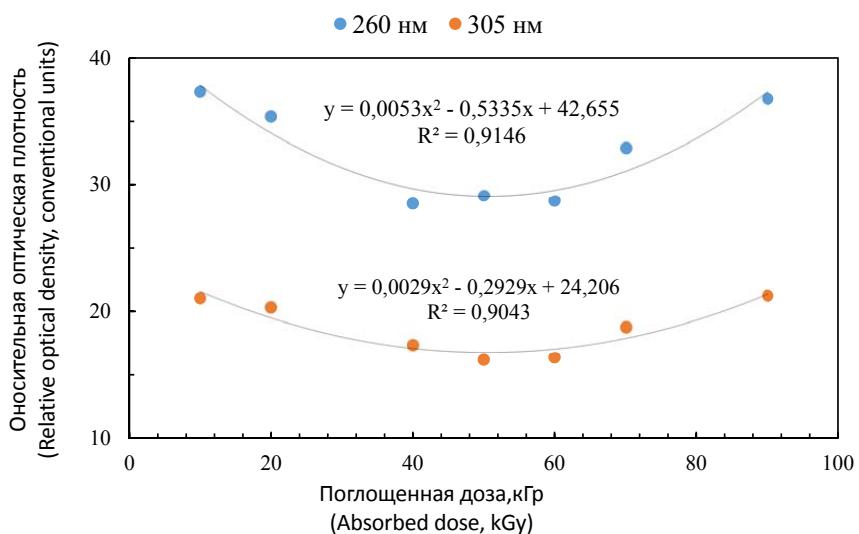


Рис. 2. Зависимость оптической плотности образцов от величины поглощенной дозы излучения на длинах волн 260 и 305 нм
Fig. 2. Dependence of the optical density of samples on the value of the absorbed radiation dose at wavelengths of 260 and 305 nm

По-видимому, увеличение оптической плотности можно объяснить накоплением продуктов деструкции (Действие различных видов..., 1991). В то же время степень кристалличности АЦ в интервале доз от 0 до 50 кГр возрастает (Thermal and optical properties..., 2008), поэтому оптическая плотность исследуемых пленок снижается. При увеличении поглощенной дозы в структуре полимеров накапливаются дефекты и сопряженные связи, затрудняющие прохождение световых

волн, и оптическая плотность материала начинает возрастать.

Выводы

Результаты исследования свидетельствуют о наличии линейной зависимости оптической плотности пленочных образцов на основе ацетата целлюлозы (АЦ) от величины поглощенной дозы ионизирующего излучения. Установлено, что изменения оптической плотности при дозах ниже

50 кГр статистически незначимы. В связи с этим дальнейшее изучение радиационно-индуцированных изменений оптических свойств данных образцов целесообразно проводить в диапазоне доз

от 50 кГр и выше. Полученная зависимость подтверждает потенциал применения пленок на основе АЦ в качестве радиационно чувствительного элемента в дозиметрических системах.

Список источников

- Действие различных видов ионизирующего излучения на политрифтхлорэтилен и поливинилхлорид / *Б. Пасальский, Д. Сачук, Л. Гребинская, Я. Лаврентович* // ВМС. 1991. Сер. А, № 5. С. 55–65.
- Ершов Б.* Радиационно-химическая деструкция целлюлозы и других полисахаридов // Russian Chem. 1998. С. 353–375, 315–334.
- Сухих Е., Филатов П., Маликов Е.* Калибровка полимерной пленки Gafchromic EBT-3 на электронном и фотонном пучках // Медицинская физика. 2013. № 2 (58). С. 50–60.
- Тенишев В.* Спектральные, дозиметрические и метрологические характеристики радиохромных радиационно чувствительных композиций // Измерительная техника. 2020. № 8. С. 59–65. DOI: 10.32446/0368-1025it.2020-8-59-65
- Algethami M.* Effect of gamma radiation on the optical and color properties of cellulose triacetate for the application in radiation dosimetry // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2025. Vol. 18. P. 101507. DOI: 10.1016/j.jrras.2025.101507
- Chaikh A., Gaudu A., Baloss J.* Monitoring methods for skin dose in interventional radiology // International Journal of Cancer Therapy and Oncology. 2014. Vol. 3, № 3. P. 03011. DOI: 10.14319/ijcto.0301.1
- Matsuda K., Nagai S.* Studies on the radiation-induced coloration mechanism of the cellulose triacetate film dosimeter // International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. 1991. Part A. Vol. 42, Is. 12. P. 1215–1221. DOI: 10.1016/0883-2889(91)90200-K
- McLaughlin, W., Ba W.-Z.* Cellulose diacetate film dosimeters // Radiat Phys Chem. 1998. Vol. 31, № 4-6. P. 481–490.
- Optimization of CR-39 for fast neutron dosimetry applications / *E. Vilela, E. Fantuzzi, G. Giacomelli* [et al.] // Radiation Measurements. 1999. Vol. 31, Is. 1–6. P. 437–442. DOI: 10.1016/S1350-4487(99)00141-9
- Polymer Film Blend of Polyvinyl Alcohol, Trichloroethylene and Cresol Red for Gamma Radiation Dosimetry / *A. Doyan, Susilawati, S. Prayogi* [et al.] // Polymers. 2021. Vol. 13. P. 1866. DOI: 10.3390/polym13111866
- Thermal and optical properties of electron beam irradiated cellulose triacetate / *S. Nouh, A. Mohamed, H. El Hussieny, E. Sakr* // Materials Chemistry and Physics. 2008. Vol. 110. P. 376–379.
- Uses of polymer-alanine film, ESR dosimeters in dosimetry of ionizing radiation / *X. Liqing, Y. Zhang, J. Dai* [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. 1993. Vol. 42. P. 837–840. DOI: 10.1016/0969-806X(93)90385-8

References

- Algethami M.* Effect of gamma radiation on the optical and color properties of cellulose triacetate for the application in radiation dosimetry // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2025. Vol. 18. P. 101507. DOI: 10.1016/j.jrras.2025.101507
- Chaikh A., Gaudu A., Baloss J.* Monitoring methods for skin dose in interventional radiology // International Journal of Cancer Therapy and Oncology. 2014. Vol. 3, № 3. P. 03011. DOI: 10.14319/ijcto.0301.1
- Ershov B.* Radiation-chemical destruction of cellulose and other polysaccharides // Russian Chem. 1998. P. 353–375, 315–334. (In Russ.)
- Matsuda K., Nagai S.* Studies on the radiation-induced coloration mechanism of the cellulose triacetate film dosimeter // International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. 1991. Part A. Vol. 42, Is. 12. P. 1215–1221. DOI: 10.1016/0883-2889(91)90200-K

- McLaughlin, W., Ba W.-Z. Cellulose diacetate film dosimeters // Radiat Phys Chem. 1998. Vol. 31, № 4-6. P. 481–490.*
- Optimization of CR-39 for fast neutron dosimetry applications / E. Vilela, E. Fantuzzi, G. Giacomelli [et al.] // Radiation Measurements. 1999. Vol. 31, Is. 1–6. P. 437–442. DOI: 10.1016/S1350-4487(99)00141-9*
- Polymer Film Blend of Polyvinyl Alcohol, Trichloroethylene and Cresol Red for Gamma Radiation Dosimetry / A. Doyan, Susilawati, S. Prayogi [et al.] // Polymers. 2021. Vol. 13. P. 1866. DOI: 10.3390/polym13111866*
- Sukhikh E., Filatov P., Malikov E. Calibration of the polymer film Gafchromic AVT-3 on electron and photon beams // Medical Physics. 2013. № 2 (58). P. 50–60. (In Russ.)*
- Tenishev V. Spectral, dosimetric and metrological characteristics of radiochromic radiation-sensitive compositions // Measuring technology. 2020. № 8. P. 59–65. DOI: 10.32446/0368-1025it.2020-8-59-65 (In Russ.)*
- The effect of various types of ionizing radiation on polytrifluoroethylene and polyvinyl chloride / B. Palsky, D. Sachuk, L. Grebinskaya, Ya. Lavrentovich // Navy. 1991. Ser. A, № 5. P. 55–65. (In Russ.)*
- Thermal and optical properties of electron beam irradiated cellulose triacetate / S. Nouh, A. Mohamed, H. El Hussieny, E. Sakr // Materials Chemistry and Physics. 2008. Vol. 110. P. 376–379.*
- Uses of polymer-alanine film, ESR dosimeters in dosimetry of ionizing radiation / X. Liqing, Y. Zhang, J. Dai [et al.] // Radiation Physics and Chemistry. 1993. Vol. 42. P. 837–840. DOI: 10.1016/0969-806X(93)90385-8*

Информация об авторах

- Никита Семенович Штабнов – аспирант,
lol_hukutos@mail.ru <http://orcid.org/0009-0003-2157-6084>*
- Руслан Альбертович Вазиров – кандидат биологических наук,
доцент и старший научный сотрудник,
rulsan.vazirov@urfu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5392-0386>*
- Максим Евгеньевич Котельников – магистрант,
kotielnikov00@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0001-9673-6092>*
- Алексей Евгеньевич Шкуро – доктор технических наук, доцент, профессор,
shkuroae@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0469-2601>*
- Виктор Гаврилович Бурындин – доктор технических наук, профессор.
buryndinvg@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6900-3435>*

Information about the authors

- Nikita S. Shtabnov – postgraduate student,
lol_hukutos@mail.ru <http://orcid.org/0009-0003-2157-6084>*
- Ruslan A. Vazirov – Candidate of Biological science, Associate Professor
and Senior Researcher,
rulsan.vazirov@urfu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5392-0386>*
- Maxim E. Kotelnikov – Master's degree student,
kotielnikov00@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0001-9673-6092>*
- Alexey E. Shkuro – Doctor of technical Sciences, Associate Professor,
shkuroae@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0469-2601>*
- Victor G. Buryndin – Doctor of technical Sciences, Professor.
buryndinvg@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6900-3435>*

Статья поступила в редакцию 02.07.2025; принята к публикации 10.08.2025.

The article was submitted 02.07.2025; accepted for publication 10.08.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 172–187.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 172–187.

Научная статья
УДК 502.174.1
DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.017

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Артем Вячеславович Артемов¹, Анна Сергеевна Ершова²,
Виктор Гаврилович Бурындин³, Алексей Евгеньевич Шкуро⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ artemovav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6994-0154>

² ershovaas@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6248-0028>

³ buryndinvg@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

⁴ shkuroae@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

Аннотация. Борщевик Сосновского как инвазивное сорное растение широко распространяется на территории Российской Федерации. По всей стране разрабатываются методы борьбы с данной проблемой. Наиболее широкое распространение получил метод механического скашивания. Образующиеся остатки не находят полноценного применения, в большинстве случаев они подвергаются сжиганию, размещению на полигонах промышленных отходов, а в иных случаях – и на несанкционированных свалках. С целью минимизации экономических потерь, в первую очередь связанных с прямыми затратами на уничтожение данного растения, необходимо найти применение образующейся биомассы в виде порубочных остатков. В данной работе рассматривается эколого-экономическое обоснование применения невостребованных растительных остатков борщевика с целью получения композиционных материалов без применения связующих веществ (на примере тепло- и звукоизоляционной плиты). В качестве сопоставления рассматриваются варианты возможных последствий негативного воздействия на окружающую среду, например сжигание порубочных остатков или их размещение на несанкционированных свалках.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, порубочные остатки, вторичное сырье, композиционные материалы, экологическая оценка, экономическое обоснование

Для цитирования: Эколого-экономическое обоснование применения вторичного растительного сырья для получения композиционных материалов без применения связующих веществ / Артемов А. В., Ершова А. С., Бурындин В. Г., Шкуро А. Е. // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 172–187.

Original article

ECOLOGICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE USE OF SECONDARY PLANT RAW MATERIALS FOR THE PRODUCING COMPOSITE MATERIALS WITHOUT THE USE OF BINDERS

Artyom V. Artyomov¹, Anna S. Ershova², Viktor G. Buryndin³,
Alexey E. Shkuro⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ artemovav@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6994-0154>

² ershovaas@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6248-0028>

³ buryndinvg@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6900-3435>

⁴ shkuroae@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0469-2601>

Abstract. Sosnovsky's hogweed, as an invasive weed plant, has spread widely in the territory of the Russian Federation. Methods of combating this problem are being developed throughout the country. The most widely used method is mechanical mowing. The resulting residues have no full-fledged use, in most cases they are subjected to incineration, placement in landfills of industrial waste, and in other cases – and unauthorized dumps. In order to minimize economic losses, primarily related to the direct costs of destroying this plant, it is necessary to find the use of the resulting biomass in the form of cutting residues. In this research, the ecological and economic justification of the use of unclaimed plant residues of hogweed is considered in order to obtain composite materials without the use of binders (using the example of a “heat and sound insulation board”). As a comparison, options for possible consequences of negative effects on the environment are considered, for example, as the burning of cutting residues or their placement in unauthorized dumps.

Keywords: Sosnovsky's hogweed, cutting residues, secondary raw materials, composite materials, environmental assessment, economic justification

For citation: Ecological and economic justification of the use of secondary plant raw materials for the producing composite materials without the use of binders / A. V. Artyomov, A. S. Ershova, V. G. Buryndin, A. E. Shkuro // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 172–187.

Введение

В настоящее время борщевик Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi*) освоил территории Центральной России, Поволжья и Урала, где распространение этого сорнякового и опасного для жизни человека растения уже принимает масштабы экологического бедствия (Лунева, 2014). Например, по данным Министерства агропромышленного комплекса и продовольствия Свердловской области, до 100 га сельхозугодий региона поражено борщевиком Сосновского (Ершова, 2020).

Распространение борщевика наносит не только экологическое воздействие, но экономический ущерб – это вывод из оборота сельскохозяйственных земель, снижение их кадастровой стоимости.

Также контакт с данным растением оказывает влияние на здоровье человека и животных (Моренко и др., 2019).

По всей стране ведутся разработки современных способов борьбы с опасным растением (Методы контроля..., 2020). Существует три основных метода борьбы: механический – скашивание и выкапывание корневища растения; химический – обработка составами, которые уничтожают сорняк; агротехнический – введение в оборот земель, которые не использовались ранее (Методы борьбы..., 2023).

Анализ закупочной деятельности (Далькэ и др., 2018) показал, что в период с 2011 по 2017 гг. в Российской Федерации выполнено не менее

477 контрактов по ликвидации зарослей инвазионного вида борщевика Сосновского на общую сумму 314 млн руб. Картографирование нежелательных зарослей провели на площади 169 тыс. га, работы по ликвидации зарослей выполнены на площади 18 тыс. га. На низкоэффективное и более дорогостоящее, чем применение гербицидов, кошение зарослей борщевика израсходовано 58 млн руб.

По данным различных интернет-источников Свердловской области (сайты СМИ, информационные агентства, социальные сервисы и проч.), полный комплекс обработки земли от сорняка (рубка, срезка, корчевка, химическая обработка) будет составлять более 2 млн руб. за 1 га (без учета рекультивационных работ).

Одним из предупреждающих методов рассматривается выкашивание борщевика на ранних стадиях и использование специальных смесей. Механический подкос используется, когда заселены большие участки. Механический контроль не приводит к немедленной гибели растений. Растения быстро регенерируют, и такой подкос нужно проводить не менее 2–3 раз за вегетационный период, чтобы не дать растениям зацвести и произвести семена (Серов и др., 2019).

Обратной стороной при внедрении данного метода борьбы с экологически опасным растением будут являться образуемые отходы биомассы в виде порубочных растительных остатков самого борщевика. Данные остатки сегодня подвергают сжиганию (в том числе несанкционированному), так как выделяющийся ядовитый сок из растений способен наносить ущерб почвенно-растительному покрову.

Во избежание финансовых потерь хозяйствующих субъектов предлагается компенсирующее мероприятие – использование порубочных остатков в качестве вторичных ресурсов для получения материалов и изделий на их основе различной номенклатуры (Бурындин и др., 2022).

Цель, задача, методика и объекты исследования

С целью организации деятельности по обращению с отходами в виде порубочных остатков борщевика Сосновского требуется их обязательная

классификация и отнесение к конкретному классу опасности по отношению к окружающей природной среде (ОПС) в соответствии с федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) (Об утверждении Федерального..., 2017).

Отсутствие отхода в перечне ФККО обязывает проведение процедуры включение отходов в ФККО и отнесение к классу опасности для ОПС (Об утверждении порядка подтверждения..., 2020; Об утверждении порядка паспортизации..., 2020).

Одним из критериев отнесения отходов к классу опасности для ОПС является степень опасности отхода для окружающей среды (Об утверждении..., 2014).

Степень опасности отхода для окружающей среды K определяется по сумме степеней опасности веществ, составляющих отход, для окружающей среды K_i :

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_m, \quad (1)$$

где K_1, K_2, \dots, K_m – показатели степени опасности отдельных компонентов отхода для окружающей среды;

m – количество компонентов отхода.

Перечень компонентов отхода и их количественное содержание устанавливаются по результатам количественных химических анализов, а также на основании литературных данных.

Степень опасности компонента отхода для окружающей среды K_i рассчитывается как отношение концентрации компонента отхода C_i к коэффициенту его степени опасности для окружающей среды W_i :

$$K_i = C_i / W_i, \quad (2)$$

где C_i – концентрация i -го компонента в отходе, мг/кг. Компонентный состав отхода был определен на основании результатов выполненного химического анализа и сведений, полученных из литературных данных, и включает:

– природные компоненты: целлюлозу, лигнин, минеральные и экстрактивные вещества, определенные лабораторным путем (Оболенская и др., 1991);

– тяжелые металлы (были определены согласно РД 52.18.685–2006 «Методические указания»).

Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии», ПНД Ф 16.1:2.2:3.17–98 «Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли (валового содержания) мышьяка и сурьмы в твердых сыпучих материалах атомно-абсорбционным методом с предварительной генерацией гидридов» на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-2», ПНД Ф 14.1:2:3.172–2000 «Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С»);

— взвешенные вещества: песок. Остаток нерастворимых минеральных примесей приняты как диоксид кремния (Органо-неорганические гибридные композиты..., 2016).

W_i — коэффициент степени опасности i -го компонента отхода для окружающей среды, мг/кг. Коэффициентом степени опасности компонента отхода для окружающей среды W_i является показатель, численно равный количеству компонента отхода, ниже значения которого он не оказывает негативного воздействия на окружающую среду.

Для наиболее распространенных компонентов отходов установлены значения коэффициента степени опасности компонента отхода для окружающей среды W_i (Об утверждении критериев..., 2014).

Компоненты отходов, состоящие из веществ, встречающихся в живой природе, например таких, как углеводы (клетчатка, крахмал и иное), белки, азотсодержащие органические соединения природного происхождения, относятся к практически неопасным компонентам отходов с относительным параметром опасности компонента отхода для окружающей среды X_i , равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности компонента отхода для окружающей среды W_i , равным 10^6 .

Для остальных компонентов отходов степень опасности компонента отхода для окружающей среды K_i определяется в соответствии с методикой, представленной в приказе Минприроды России от 04.12.2014 № 536.

Исходные данные и результаты расчетов класса опасности для ОПС отхода «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)» представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Исходные данные и результаты расчетов класса опасности для ОПС отхода
«Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)»

Initial data and results of calculations of the hazard class for the waste PHA
“Cutting residues of Sosnovsky’s hogweed (biomass)”

№	Название компонента Component name	C_i , мг/кг	W_i , мг/кг	K_i
1	Целлюлоза Cellulose	450 000,000	1 000 000,00*	0,450
2	Лигнин Lignin	254 000,000	1 000 000,00*	0,254
3	Минеральные вещества Minerals	54 000,000	1 000 000,00*	0,054
4	Экстрактивные вещества Extractive substances	195 000,000	1 000 000,00*	0,195
5	Свинец Plumbum	0,580	650,63**	0,001
6	Кадмий Cadmium	0,390	309,03**	0,001
7	Цинк Zinc	26,000	2 511,89**	0,010

Окончание табл. I
The end of the table I

№	Название компонента Component name	C_i , мг/кг	W_i , мг/кг	K_i
8	Медь Cuprum	5,200	2 840,10**	0,002
9	Ртуть Mercury	0,009	113,07**	0,000
10	Никель Nickel	10,000	1 536,97**	0,007
11	Мышьяк Arsenium	0,200	493,55**	0,000
12	Диоксид кремния (песок) Silicium Dioxide (sand)	46 957,621	1 000 000,00*	0,047
	ИТОГО: TOTAL:	1 000 000,000		1,021

$$\sum K_i = 1,021, \\ \sum K_i \leq 10.$$

Класс опасности отхода: 5.
Waste hazard class: 5.

* Принято согласно п.11 приказу МПР России от 04.12.2014 № 536.

** Принято согласно Прил. 4 приказа МПР России от 04.12.2014 № 536.

* Adopted in accordance with paragraph 11 of the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 04.12.2014 № 536.

** Adopted in accordance with Appendix 4 of the Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 04.12.2014 № 536.

Таким образом, на основании степени опасности компонента отхода для окружающей среды отходы «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)» относятся к V классу опасности для ОПС.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрены следующие варианты потенциального ущерба, причиняемого окружающей среде:

- вариант 1. Размещение отхода на объектах ОПО;
- вариант 2. Несанкционированное размещение отхода на землях сельскохозяйственного назначения;
- вариант 3. Сжигание (термическое обезвреживание) отходов.

Вариант 1. Размещение отхода на объектах ОПО

В данном варианте рассматривается ущерб, наносимый окружающей среде при размещении данных видов отходов на объектах размещения отходов в соответствии с действующими экономическими механизмами в природопользовании.

Одним из видов экономического механизма природопользования является осуществление платы за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) (Об охране окружающей среды, 2002). Плата за НВОС – индивидуально-возмездный платеж, взимаемый с юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, а также иностранных юридических и физических лиц, во исполнение их обязательства (обязанности) по компенсации НВОС, производимого в результате хозяйственной или иной деятельности на территории Российской Федерации.

Исходными данными для расчета размера платы за загрязнение окружающей среды являются количественные показатели негативного воздействия на окружающую среду (Об утверждении Правил исчисления..., 2023).

Плата за размещение отходов в пределах лимитов на размещение отходов $P_{\text{пр}}$ рассчитывается по формуле

$$P_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^m (M_{ij} H_{nij} K_{om} K_{il} K_{od} K_{no} K_{cm} K_{uod}), \quad (3)$$

где m – количество классов опасности отходов. Рассматриваемый отход на основании степени

опасности компонента отхода для окружающей среды относится к V классу опасности для ОПС;

M_{nj} – платежная база за размещение отходов j -го класса опасности, определяемая как масса размещенных отходов в количестве, равном или менее установленных лимитов на размещение отходов, т.

Масса отхода, образуемая и размещаемая на ОРО в течение года, принимается из следующих соображений. Применительно к Свердловской области произрастание борщевика составляет 100 га (Ершова, 2020). На основании литературных данных (Доржиев, Базарова, 2012) средняя масса выхода биомассы борщевика составляет 600 ц/га. Таким образом, усредненная масса размещаемого отхода за весь «порубочный» сезон составит 6000 т;

H_{nj} – ставка платы за размещение отходов j -го класса опасности, руб./т. Ставка платы за НВОС при размещении отходов V класса опасности (прочие) составляет 17,3 руб. за 1 т (О ставках платы..., 2016);

K_{om} – дополнительный коэффициент к ставкам платы в отношении территорий и объектов, находящихся под особой охраной в соответствии с федеральными законами. Принимается равным 1;

K_{λ} – коэффициент к ставке платы за размещение отходов j -го класса опасности за массу отходов производства и потребления, размещенных в пределах лимитов на их размещение. Принимается равным 1;

K_{oo} – стимулирующий коэффициент к ставке платы за размещение отходов j -го класса опасности. Принимается равным 1 (Об охране окружающей среды..., 2002);

K_{no} – стимулирующий коэффициент к ставке платы за размещение отходов j -го класса опасности. Принимается равным 1 (Об охране окружающей среды, 2002);

K_{cm} – стимулирующий коэффициент к ставке платы за размещение отходов j -го класса опасности. Принимается равным 1 (Об охране окружающей среды..., 2002);

K_{ino} – дополнительный коэффициент, применяемый к ставкам платы, устанавливаемый Правительством РФ в соответствии с п. 4 ст. 16.3

ФЗ-89. Принимается равным 1,32 (О применении в 2024..., 2024).

Результаты расчетов платы за НВОС при размещении отхода:

$$\begin{aligned} \Pi_{np} &= 6000 \times 17,3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,32 = \\ &= 137000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таким образом, ущерб, наносимый ОПС при размещении отходов «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)» на ОРО, определенный как платеж за НВОС, составляет 137 тыс. руб.

Вариант 2. Несанкционированное размещение отхода на землях сельскохозяйственного назначения

В данном варианте рассмотрен непосредственный вред, причиненный почвам как объекту охраны окружающей среды (Об утверждении Методики..., 2010):

– размер вреда в результате порчи почв при их захламлении, возникшего при складировании на поверхности почвы или в почвенной толще отходов производства и потребления;

– размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящего к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв.

Вариант 2.1. Исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате порчи почв при их захламлении, возникшего при складировании на поверхности почвы или почвенной толще отходов производства и потребления, осуществляется по формуле

$$УЩ_{omx} = \sum_{i=1}^n (M_i T_{omx}) K_{ucn} K_{od} K_{mnc}, \quad (4)$$

где $УЩ_{omx}$ – размер вреда, руб.;

M_i – масса отходов с одинаковым классом опасности, т. Принимается масса отхода 6000 т (см. вариант 1);

n – количество видов отходов, сгруппированных по классам опасности в пределах одного участка, на котором выявлено несанкционированное размещение отходов производства и потребления;

K_{ucn} – показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка. Для иных сельскохозяйственных угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения принимается 1,6;

T_{omx} – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, в результате порчи почв при их захламлении, руб./т. Для отхода V класса опасности для ОПС такса составляет 10 000 руб./т;

K_{mnc} – показатель, учитывающий мощность плодородного слоя почвы. Применительно к Уральскому региону с учетом нормативных документов, связанных с изыскательскими, земляными и культивационными работами с плодородными слоями почв (Охрана природы..., 1985), глубина пахотного горизонта почв сельскохозяйственных угодий в среднем достигает 20 см. При глубине загрязнения почв до 20 см K_{mnc} принимается равным 4.

Результаты расчетов вреда в результате порчи почв при их захламлении, возникшего при складировании на поверхности почвы или почвенной толще отхода «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)»:

$$УШ_{omx} = 6000 \times 10000 \times 1,6 \times 4 = 384 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, потенциальный вред при порче почвенного покрова при складировании и захламлении порубочными остатками борщевика Сосновского составит 384 млн руб.

Вариант 2.2. Исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящего к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы ПДК и ОДК химических веществ в почве, региональные нормативы, осуществляется по формуле

$$УШ_{зар} = C3 S K_r K_{ucn} T_x K_{mnc}, \quad (5)$$

где $УШ_{зар}$ – размер вреда, руб.;

$C3$ – степень загрязнения. Степень загрязнения зависит от соотношения фактического содержания i -го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв.

Соотношение С фактического содержания i -го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв определяется по формуле

$$C = \sum_{i=1}^m X_i / X_n, \quad (6)$$

где X_i – фактическое содержание i -го загрязняющего вещества в почве, мг/кг. Принимается согласно химическому анализу растительного сырья и допускается полная миграция загрязняющих веществ в почвенный покров при естественной деструкции отхода растительного (природного) происхождения. Борщевик Сосновского по результатам КХА содержит тяжелые металлы и мышьяк, представленные в табл. 1;

X_n – норматив качества окружающей среды для почв, мг/кг (Гигиенические нормативы..., 2021). Стоит отметить, что содержание в рассматриваемых растительных остатках тяжелых металлов и мышьяка находится ниже установленных нормативов. Таким образом, можно говорить, что сверхнормативное загрязнение почвенного покрова при миграции металлов загрязнителей маловероятно.

Однако методика предусматривает применение в качестве нормативов качества окружающей среды для почв значений концентраций загрязняющих веществ на сопредельной территории аналогичного целевого назначения и вида использования, не испытывающей негативного воздействия от данного вида нарушения – фонового содержания.

В качестве ориентировочных значений фоновых концентраций химических элементов в почвах приняты данные для дерново-подзолистых суглинистых и глинистых почв (Инженерно-экологические изыскания..., 2021).

Исходные данные и определение соотношения фактического содержания i -го загрязняющего вещества в почве к принятому нормативу качества окружающей среды для почв C представлено в табл. 2.

При значении C менее 5 $C3$ принимается равным 1,5;

S – площадь загрязненного участка, м². Применительно к Свердловской области произрастание борщевика составляет 100 га (см. выше). Принимается для расчетов $S = 1 000 000$ м²;

Таблица 2
Table 2Определение степени загрязнения почв
Determination of the degree of soil pollution

Показатель Indicator	Pb	Cd	Zn	Cu	Hg	Ni	As
X_i	0,58	0,39	26,00	5,20	0,009	10,00*	0,20*
X_h	15,00	0,12	45,00	15,00	0,1	30,00	2,20
C_i	0,04	3,25	0,58	0,35	0,09	0,33	0,09
C				4,73			
C^{**}				3,25			

* Для никеля и мышьяка принимается X_i значение нижняя граница диапазона определения методики исследований.

** В случае если отношение X_i/X_h для конкретного загрязняющего вещества менее или равно 1, то данное отношение не включается в формулу расчета соотношения C фактического содержания i -го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв вследствие отсутствия превышения норматива качества окружающей среды для почв по данному загрязняющему веществу (в данном случае превышения фонового содержания).

* For nickel and arsenic, the X_i value is taken as the lower limit of the range of determination of the research methodology.

** If the ratio X_i/X_h for a specific pollutant is less than or equal to 1, then this ratio is not included in the formula for calculating the ratio (C) of the actual content of the i -th pollutant in the soil to the environmental quality standard for soils due to the absence of excess of the environmental quality standard for soils for this pollutant (in this case, excess of the background content).

K_r – показатель, учитывающий глубину загрязнения почв. Величина показателя, учитывающего глубину загрязнения почв K_r , определяется в соответствии с максимальной фактической глубиной загрязнения почв, которая не может превышать значения мощности почв в зависимости от приуроченности земельного участка к лесорастительным зонам и земельным участкам, расположенным севернее зоны притундровых лесов и редкостойной тайги.

Применительно к Свердловской области, где распространена в большей степени таежная зона (Районирование лесов..., 2011), мощность почвы согласно применяемой методике может достигать 200 см. Для промышленного Уральского региона мощность потенциального загрязнения почв на основании литературных данных (Харина, Алешина, 2022) и требований к отбору проб почвы при общих и локальных загрязнениях (Охрана природы..., 2017) достигает 40 см. При глубине загрязнения почв до 40 см K_r принимается равным 1,5;

K_{ucn} – показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка.

Область произрастания растения – преимущественно земли сельскохозяйственного назначения. Для иных сельскохозяйственных угодий в соста-

ве земель сельскохозяйственного назначения K_{ucn} принимается 1,6;

T_x – таcса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, при загрязнении почв, руб./м². При приуроченности участка распространения почв к таежной растительной зоне (как для преобладающей в Свердловской области) T_x составляет 500 руб./м²;

K_{mnc} – показатель, учитывающий мощность плодородного слоя почвы. Применительно к Уральскому региону (Охрана природы..., 1985) глубина пахотного горизонта почв сельскохозяйственных угодий в среднем достигает 20 см. При глубине загрязнения почв до 20 см K_{mnc} принимается равным 4.

Результаты расчетов вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ, мигрирующие из отхода «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)»:

$$УЩ_{зарп} = 1,5 \times 1\ 000\ 000 \times 1,5 \times 1,6 \times 500 \times 4 = \\ = 7\ 200 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, потенциальный вред при порче почвенного покрова при миграции тяжелых металлов из порубочных остатков борщевика Сосновского составит 7 200 млн руб.

Вариант 3. Обезвреживание (сжигание) отходов (порубочных остатков)

Данные отходы могут подлежать обезвреживанию путем сжигания (термическое обезвреживание). Стоит отметить, что обезвреживание отходов V класса не требует наличия лицензии на деятельность по обращению с отходами. Отсутствие необходимости получения лицензии убирает барьер по ограничению к сжиганию данных видов отходов, в том числе и несанкционированному.

На сегодня реализация деятельности по термическому обезвреживанию отходов регулируется информационно-техническим справочником по наилучшим доступным технологиям (НДТ) ИТС 9-2020 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» (Об утверждении информационно-технического справочника..., 2020).

Исчисление размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды, определяется в случаях (Об утверждении Методики..., 2021):

– превышения установленных комплексным экологическим разрешением технологических нормативов, нормативов допустимых выбросов высокотоксичных веществ, веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами (веществ I, II класса опасности);

– нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, указанных в декларации, отчете, в период отсутствия НМУ.

С учетом того что выбросы сжигания (термического обезвреживания) принимаются на уровне технологических нормативов, установленных справочником НДТ, ущерб, наносимый атмосферному воздуху, определялся как плата за загрязнение атмосферного воздуха в соответствии с действующим законодательством (см. вариант 1).

Плата в пределах (равных или менее) нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ $P_{н\partial}$ рассчитывается по формуле

$$P_{н\partial} = \sum_{i=1}^n (M_{н\partial i} H_{n\partial i} K_{om} K_{н\partial} K_{н\partial i}), \quad (7)$$

где n – количество загрязняющих веществ. Маркерные загрязняющие вещества в выбросах в ат-

мосферный воздух при обезвреживании основных групп видов отходов (относительно состава веществ) установлены в технологических показателях НДТ для российских объектов утилизации и обезвреживания отходов термическим способом на уровне европейских технологических показателей. Предложения по установлению технологических показателей согласно ИТС 9-2020 в данном случае принимаются по перечню веществ, соответствующих V классу отходов, подлежащих обезвреживанию термическими способами;

$M_{н\partial i}$ – платежная база за выбросы i -го загрязняющего вещества, определяемая лицом, обязанным вносить плату, за отчетный период как масса или объем выбросов загрязняющих веществ в количестве, равном либо менее установленных нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ или сбросов загрязняющих веществ, т.

Масса валового выброса загрязняющего вещества определялась пересчетом из максимально-разового выброса, который был определен по формуле

$$M_{mp} = CV,$$

где C – концентрация загрязняющего вещества, принятая по технологическому нормативу, $\text{мг}/\text{м}^3$;

V – объем газовоздушной смеси при сжигании в год условной массы, принятый равным V_{pe} , $\text{м}^3/\text{с}$.

Реальный объем газовоздушной смеси V_{pe} при сжигании в год условной массы растительных остатков борщевика составляет $30,543 \text{ м}^3/\text{с}$ (Методика определения..., 1999);

$H_{n\partial i}$ – ставка платы за выбросы загрязняющих веществ или сбросы загрязняющих веществ в отношении i -го загрязняющего вещества, руб./т (Об утверждении Правил..., 2023);

K_{om} – дополнительный коэффициент к ставкам платы в отношении территорий и объектов, находящихся под особой охраной в соответствии с федеральными законами. Принимается равным 1;

$K_{н\partial}$ – коэффициент к ставкам платы за выбросы i -го загрязняющего вещества за объем выбросов загрязняющих веществ в пределах нормативов допустимых выбросов. Принимается равным 1;

$K_{н\partial i}$ – дополнительный коэффициент к ставкам платы, устанавливаемый Правительством

Российской Федерации в соответствии с п. 4 ст. 16.3 ФЗ-89 «Об охране окружающей среды» (О применении в 2024..., 2024). Принимается коэффициент 1,32. Определенные загрязняющие вещества были классифицированы по наименованиям и кодам (Гигиенические нормативы..., 2021).

В табл. 3 представлены объемы загрязнения и платы за загрязнения атмосферы (ставками платы за НВОС и коэффициентами на 2024 г.) при сжигании 1 т отхода «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)» в год.

Таблица 3
Table 3

Плата за НВОС за загрязнение атмосферы при сжигании
порубочных остатков борщевика
Fee for environmental impact assessment for air pollution from burning
of hogweed cutting residues

Код Code	Загрязняющее вещество Pollutant	Технологический показатель (норматив), мг/м ³ Technological indicator (standard), mg/m ³	$M_{нод}$, т	$H_{пл}$, руб./т	Плата**, руб/т payment**, rub/t
1	2	3	4	5	6
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота) Nitrogen dioxide (Nitrogen dioxide; nitrogen peroxide)	200,000	192,640810	138,8	35 294,88
0330	Серы диоксид Sulfur dioxide	50,000	48,160202	45,4	2 886,14
0337	Углерода оксид (углерод окись; углерод моноокись; угарный газ) Carbon monoxide (Carbon oxide; Carbon monoxide; Carbon monoxide)	50,000	48,160202	1,6	101,71
2754	Алканы С12-19 (в пересчете на С) Alkanes C12-19 (converted to C)	10,000	9,632040	10,8	137,31
2902	Взвешенные вещества Suspended solids	10,000	9,632040	36,6	465,34
0703	Бенз/а/пирен Benz/a/pyrene	0,001	0,000963	5 472 968,7	6 958,49
0316	Гидрохлорид/по молекуле HCl/ (водород хлорид) Hydrochloride/by HCl molecule/ (Hydrogen chloride)	10,000	9,632040	29,9	380,16
0342	Фтористые газообразные соединения/ в пересчете на фтор/: – гидрофторид (водород фторид; фтороводород) Fluoride gaseous compounds/in terms of fluorine/: – hydrofluoride (hydrogen fluoride; hydrogen fluoride)	1,000	0,963204	1 094,7	1 391,83
3620	Диоксины/в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордibenzo-1,4-диоксин/ (диоксин, тетрадиоксин, 2,3,7,8-ТХДД) Dioxins/converted to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo- 1,4-dioxin/ (Dioxin, tetra-dioxin, 2,3,7,8-TCDD)	$1,0 \cdot 10^{-7}$	0,000000	13 400 000 000	1703,72

Окончание табл. 3
The end of the table 3

1	2	3	4	5	6
0186	Ртути соединения водорастворимые: сулема, уксуснокислая, азотнокислая, окисная и закисная ртуть /в пересчете на ртуть/ Water-soluble mercury compounds: mercury chloride, acetic acid, nitric acid, oxidic and protoxide mercury /in terms of mercury/	0,050	0,048160	18 244,1	1 159,80
0133	Кадмий оксид/в пересчете на кадмий/ Cadmium oxide/in terms of cadmium/	0,050	0,048160	14 759,3	938,27
0282	Таллий йодид /в пересчете на таллий/ (иодид таллия(I), иодистый таллий) Thallium iodide /in terms of thallium/ (Thallium(I) iodide, thallium iodide)	0,050	0,048160	0,0	0,00
0184*	Свинец и его неорганические соединения/ в пересчете на свинец/ (свинец) Lead and its inorganic compounds/ in terms of lead/ (lead)	0,500	0,481602	18 244,1	116 490,96
Итого Total		—	—	—	167 908,61

* Сумма остальных тяжелых металлов (As+Pb+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Sb+V) принимается по металлу с самой высокой ставкой платы.

** В расчете приняты коэффициенты $K_{om} = 1$; $K_{no} = 1$, $K_{ind} = 1,32$.

* The sum of other heavy metals (As+Pb+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Sb+V) is taken for the metal with the highest payment rate.

** The following coefficients are taken into account in the calculation: $K_{ot} = 1$; $K_{na} = 1$, $K_{ind} = 1.32$.

Таким образом, ущерб, наносимый атмосферному воздуху при сжигании порубочных остатков борщевика Сосновского, определенный как платеж за НВОС, составит 167,91 тыс. руб.

Выше были рассмотрены некоторые варианты потенциального ущерба, наносимого окружающей природной среде при обращении с видом отхода «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)».

При сопоставлении полученных результатов различных вариантов (табл. 4) и всесторонней оценки дополнительно принимаются следующие варианты:

– вариант 0 – отказ от мероприятий по предупреждению и борьбе с борщевиком. Данный вариант предусматривает штрафные санкции в рамках административного наказания согласно КоАП. В Москве и Московской области владельцы земли, где вырос борщевик, обязаны избавиться от растения до его цветения. В противном случае штраф для юридических лиц составит от 150 тыс. до 1 млн руб., для должностных – 20–50 тыс. руб., для физлиц – 2–5 тыс. руб.;

– вариант 4 – комплекс мероприятий обработки земли от сорняка. Существующие информационные данные по материальным затратам, связанным с борьбой с борщевиком в Свердловской области, были рассмотрены выше;

– вариант 5 – получение материалов на основе растительных остатков борщевика Сосновского. Экономическая эффективность была выполнена по оценке технологической себестоимости производства пустотелой плиты из пластика без связующего (ПБС) сечением 200×150 мм с толщиной стенки 30 мм (тепло- и звукоизоляционная плита). Исходные данные были приняты по результатам выполненных научных работ по данной тематике (Получение..., 2022). По итогам расчетов технологическая себестоимость производства тепло- и звукоизоляционной плиты на основе ПБС из биомассы борщевика составила 1 163,83 руб./м³.

В табл. 4 наглядно отображено существующее положение, которое позволяет говорить об экономической и экологической направленности в вопросе борьбы с сорняковым растением, таким как борщевик Сосновского.

Таблица 4
Table 4

Сопоставление различных вариантов
Comparison of different options

Вариант Option	Показатель Indicator	Примечание Note	Экологический эффект Ecological effect
0	1 млн руб. 1 million rubles	Штраф на 1 юридическое лицо Fine for 1 legal entity	Отрицательный Negative
1	137 тыс. руб. 137 thousand rubles	Отходы с 100 га Waste from 100 hectares	Отсутствует Absent
2	7584 млн руб. 7584 million rubles	Принята сумма ущерба почв на 100 га рассмотренных подвариантов The amount of soil damage per 100 hectares of the considered sub-options was accepted	Отсутствует Absent
3	167,91 тыс. руб. 167.91 thousand rubles	Отходы с 100 га без учета выбросов от сжигания природного топлива в установках Waste from 100 hectares excluding emissions from combustion of natural fuels in installations	Присутствует Present
4	2 млн руб. 2 million rubles	За 1 га без учета культивационных работ Per 1 ha excluding cultivation work	Присутствует Present
5	175 тыс. руб. 175 thousand rubles	Техническая себестоимость при производстве 100 т продукции Technical cost price for the production of 100 tons of products	Положительный Positive

Выводы

1. Эколого-экономическая составляющая в вопросе борьбы с борщевиком Сосновского является основной и вынуждает природопользователей инициировать поиск предложений с целью минимизации как финансовых потерь, так и экологического ущерба.

2. Одним из решений является применение растительных остатков, представленных в виде

отхода «Порубочные остатки борщевика Сосновского (биомасса)», как вторичных ресурсов, которые после соответствующей обработки можно рассматривать как вторичное сырье для получения продукции.

3. Такой подход с целью получения функциональных материалов имеет не только экологическую составляющую, но и экономическую обоснованность и эффективность.

Список источников

Бурындин В. Г., Артемов А. В., Савиновских А. В. Производство древесных топливных гранул на предприятиях малого и среднего бизнеса // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 2 (54). С. 190–195. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-2-190-195

Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.12.2021 № 2. URL: https://lic-solilecka-r56.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/196/3062/SP123685_21_0_1_.pdf (дата обращения: 20.09.2025).

ГОСТ 17.4.3.01–2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб (с поправками, с изм. № 1) : межгосударственный стандарт : дата введения 2019-01-01. М. : Стандартинформ, 2018. 10 с.

ГОСТ 17.5.3.06–85. Охрана природы (ССОП). Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ : межгосударственный стандарт : дата введения 1986-07-01 // Охрана природы. Земли : сб. ГОСТов. М. : Изд-во стандартов, 2002. 63 с.

- Далькэ И. В., Чадин И. Ф., Захожий И. Г. Анализ мероприятий по ликвидации нежелательных зарослей борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на территории Российской Федерации // Российский журнал биологических инвазий. 2018. Т. 11, № 3. С. 44–61.
- Доржиев С. С., Базарова Е. Г. Биоэтанол из зеленой массы борщевика Сосновского // Инновации в сельском хозяйстве. 2012. № 2 (2). С. 10–16.
- Ерикова А. С. Использование отходов борщевика для получения материалов на его основе // Eurasia Green : тез. работ участников XI Междунар. конкурса науч.-исслед. проектов молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 13 мая 2020 года / отв. за выпуск Г. Ю. Пахальчак, М. Б. Видревич. Екатеринбург : Урал. гос. экон. ун-т, 2020. С. 31–35.
- Лунева Н. Н. Борщевик Сосновского в Российской Федерации // Защита и карантин растений. 2014. № 3. С. 12–18.
- Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час : приказ Госкомэкологии России от 09.07.1999. СПб. : Интеграл, 1999. 76 с.
- Методы борьбы с инвазивным сорным растением – борщевиком Сосновского (краткий обзор) / Т. Я. Ашихмина, Н. В. Сырчина, И. Г. Широких [и др.] // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : матер. XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Киров, 15 ноября 2023 года. Киров : Вятск. гос. ун-т, 2023. С. 111–117.
- Методы контроля распространения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на землях лесного фонда / А. Б. Егоров, Л. Н. Павлюченкова, А. Н. Партолина [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 3. С. 4–20.
- Моренко К. С., Доржиев С. С., Базарова Е. Г. Методика учета растительной массы борщевика Сосновского // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3 (36). С. 107–111.
- О применении в 2024 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду : Постановление Правительства Российской Федерации от 17.04.2024 г. № 492. URL: <http://government.ru/docs/all/153010/> (дата обращения: 20.09.2024).
- О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах : Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913. URL: <http://government.ru/docs/all/108250/> (дата обращения: 20.09.2024).
- Об охране окружающей среды : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 20.09.2025).
- Об утверждении информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами : приказ Росстандарта от 23.12.2020 № 2181. URL: <https://base.garant.ru/400150244/> (дата обращения: 20.09.2025).
- Об утверждении Критерии отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду : приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411864554/> (дата обращения: 20.09.2025).
- Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды : приказ Минприроды России от 28.01.2021 № 59. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400189242/> (дата обращения: 20.09.2024).
- Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды : приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238. URL: <https://base.garant.ru/2172837/> (дата обращения: 20.09.2024).
- Об утверждении порядка паспортизации и типовых форм паспортов отходов I–IV классов опасности : приказ Минприроды России от 08.12.2020 № 1026. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400042566/> (дата обращения: 20.09.2024).

Об утверждении порядка подтверждения отнесения отходов I–V классов опасности к конкретному классу опасности : приказ Минприроды России от 08.12.2020 № 1027. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372441/ (дата обращения: 20.09.2024).

Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации : Постановление Правительства РФ от 31.05.2023 № 881. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_448455/ (дата обращения: 20.09.2024).

Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов : приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/ (дата обращения: 20.09.2024).

Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы : [учеб. пособие для вузов по спец. «Хим.-мех. технология древесины и древесных материалов»]. М. : Экология, 1991. 319 с.

Органо-неорганические гибридные композиты TiO_2/SiO_2 на основе технической целлюлозы из рисовой шелухи / И. О. Шаповалова, А. В. Вураско, Л. А. Петров, О. В. Стоянов // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 7. С. 17–20.

Получение полимерных материалов из вторичного лигноцеллюлозного сырья / В. Г. Бурындина, А. В. Вураско, В. В. Глухих [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2022. 188 с.

Годовалов Г. А., Залесов С. В., Лежнина Е. Н. Районирование лесов Свердловской области // Аграрный вестник Урала. 2011. № 8 (87). С. 38–39.

Серов, А. Г., Голубев В. В., Кудрявцев А. В. Исследование инновационных технологических процессов удаления борщевика // Научные приоритеты в АПК : инновации, проблемы, перспективы развития : сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф., Тверь, 22 октября 2019 года. Ч. 2. Тверь : Твер. гос. с.-х. акад., 2019. С. 105–111.

СП 502.1325800.2021. Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ : утв. приказом Минстроя России от 16.07.2021 № 475/пр. М. : РСТ, 2021. 142 с.

Харина Г. В., Алешина Л. В. Аккумуляция тяжелых металлов в почвах Свердловской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 2. С. 173–183. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3330

References

- Buryndin V. G., Artyomov A. V., Savinovskikh A. V. Production of wood fuel pellets at enterprises of small and medium-sized businesses // Systems. Methods. Technologies. 2022. № 2 (54). P. 190–195. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-2-190-195 (In Russ.)
- Dalke I. V., Chadin I. F., Zakhozhy I. G. Analysis of measures to eliminate undesirable growth of Sosnovsky's hogweed (*Heraculum sosnowskyi* Manden.) on the territory of the Russian Federation // Russian Journal of Biological Invasions. 2018. Vol. 11, № 3. P. 44–61. (In Russ.)
- Dorzhiev S. S., Bazarova E. G. Bioethanol from the green mass of Sosnovsky's hogweed // Innovations in agriculture. 2012. № 2 (2). P. 10–16. (In Russ.)
- Ershova A. S. The use of bortscht waste to obtain materials based on it // Eurasia Green : Abstracts of works by participants of the XI International Competition of research projects of young scientists and students, Yekaterinburg, May 13, 2020 / Rev. for the issue G. Yu. Pakhalchak, M. B. Vidrevich. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2020. P. 31–35. (In Russ.)

- Godovalov G. A., Zalesov S. V., Zalesov E. N. Zoning of forests of the Sverdlovsk region // Agrarian Bulletin of the Urals. 2011. № 8 (87). P. 38–39. (In Russ.)
- GOST 17.4.3.01–2017. Nature Protection (SSOP). Soils. General requirements for sampling (as amended, with Amendment № 1) : interstate standard : date of introduction 2019-01-01. Moscow : Standartinform, 2018. 10 p.
- GOST 17.5.3.06–85. Nature Protection (SSOP). Lands. Requirements for determining the norms for removing the fertile soil layer during excavation : interstate standard : date of introduction 1986-07-01 / Nature Protection. Lands: Collection of GOST standards. Moscow : Publishing House of Standards, 2002. 63 p.
- Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and harmlessness of environmental factors for humans : resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 28.12.2021 № 2 : URL: https://lic-solilecka-r56.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/196/3062/SP123685_21_0_1_.pdf (accessed 20.09.2024).
- Kharina G. V., Alyoshina L. V.* Accumulation of heavy metals in soils of the Sverdlovsk region // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2022. Vol. 333, № 2. P. 173–183. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3330 (In Russ.)
- Luneva N. N.* Sosnovsky's hogweed in the Russian Federation // Protection and quarantine of plants. 2014. № 3. P. 12–18. (In Russ.)
- Methodology for determining emissions of pollutants into the atmosphere during fuel combustion in boilers with a capacity of less than 30 tons of steam per hour or less than 20 Gcal per hour: Order of the State Committee of Ecology of Russia dated 09.07.1999 St. Petersburg : Integral Company, 1999. 76 p.
- Methods for controlling the spread of Sosnovsky's hogweed (*Heraculum sosnowskyi* Manden.) on the lands of the forest fund / *A. B. Egorov, L. N. Pavlyuchenkova, A. N. Partolina* [et al.] // Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. 2020. № 3. P. 4–20. (In Russ.)
- Methods of combating invasive weeds – borscht of Sosnovsky (a brief overview) / *T. Ya. Ashikhmina, N. V. Syrchnina, I. G. Shirokikh* [et al.] // Biodiagnostics of the state of natural and natural-man-made systems : Materials of the XXI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Kirov, November 15, 2023. Kirov : Vyatka State University, 2023. P. 111–117. (In Russ.)
- Morenko K. S., Dorzhiev S. S., Bazarova E. G.* The methodology of accounting for the vegetable mass of the Sosnovsky's hogweed // Electrical engineering and electrical equipment in the agro-industrial complex. 2019. № 3 (36). P. 107–111. (In Russ.)
- Obolenskaya A. V., Yelnitskaya Z. P., Leonovich A. A.* Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose : [Textbook for universities in the specialty “Chemical fur. technology of wood and wood materials”]. Moscow : Ecology, 1991. 319 p.
- Obtaining polymer materials from secondary lignocellulose raw materials / *V. G. Buryndin, A. V. Vurasko, V. V. Glukhikh* [et al.]. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2022. 188 p.
- On approval of Criteria for classifying waste into Hazard classes I–V according to the degree of negative impact on the environment : order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 04.12.2014 № 536. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411864554> (accessed 20.09.2024).
- On approval of the Federal Classification Catalog of Waste: Rosprirodnadzor Order dated 22.05.2017 № 242. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071 (accessed 20.09.2024).
- On approval of the information and technical handbook on the best available technologies “Waste disposal and neutralization by thermal methods”: Rosstandart Order № 2181 dated 12.23.2020. URL: <https://base.garant.ru/400150244/> (accessed 20.09.2024).
- On approval of the Methodology for calculating the amount of damage caused to atmospheric air as a component of the Natural environment : Order № 59 of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated January 28, 2021. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400189242> / (accessed 20.09.2024).

- On approval of the Methodology for calculating the amount of damage caused to soils as an object of Environmental protection: order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 08.07.2010 № 238. URL: <https://base.garant.ru/2172837> (accessed 20.09.2024).
- On approval of the procedure for certification and standard forms of waste passports of hazard classes I–IV : Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 08.12.2020 № 1026. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400042566> (accessed 20.09.2024).
- On approval of the procedure for Confirming the classification of waste of hazard classes I–V to a Specific hazard class : order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 08.12.2020 № 1027. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372441/ (accessed 20.09.2024).
- On approval of the Rules for Calculating and Charging fees for Negative Environmental Impacts and on Invalidation of Certain Acts of the Government of the Russian Federation and a separate provision of the Act of the Government of the Russian Federation : Decree of the Government of the Russian Federation dated 31.05.2023 № 881. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_448455 (accessed 20.09.2024).
- On Environmental Protection : Federal Law № 7-ФЗ of 10.01.2002. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823 / (accessed 20.09.2024).
- On the application of payment rates for negative environmental impact in 2024 : Decree of the Government of the Russian Federation № 492 dated 17.04.2024. URL: <http://government.ru/docs/all/153010> / (accessed 20.09.2024).
- On the rates of payment for negative environmental impact and additional coefficients : Decree of the Government of the Russian Federation dated 13.09.2016 № 913. URL: <http://government.ru/docs/all/108250> / (accessed 20.09.2024).
- Organic-inorganic hybrid TiO_2/SiO_2 composites based on technical cellulose from rice husks / I. O. Shapovalova, A. V. Vurasco, L. A. Petrov, O. V. Stoyanov // Bulletin of the Techno-logical University. 2016. Vol. 19, № 7. P. 17–20. (In Russ.)
- Serov A. G., Golubev V. V., Kudryavtsev A. V. Research of innovative technological processes of borscht removal // Scientific priorities in agriculture: innovations, problems, prospects for development : A collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference, Tver, October 22, 2019. Part 2. Tver : Tver State Agricultural Academy, 2019. P. 105–111. (In Russ.)
- SP 502.1325800.2021. A set of rules. Engineering and environmental surveys for construction. General rules of work : approved by order of the Ministry of Construction of Russia dated 16.07.2021 № 475/pr. Moscow : PCT, 2021. 142 p.

Информация об авторах

- A. B. Артемов – кандидат технических наук, доцент;
- A. C. Ершова – аспирант;
- B. Г. Бурындин – доктор технических наук, профессор;
- A. E. Шкуро – доктор технических наук, доцент.

Information about the authors

- A. V. Artyomov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
- A. S. Ershova – postgraduate student;
- V. G. Buryndin – Doctor of Technical Sciences, Professor;
- A. E. Shkuro – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 25.09.2024; принята к публикации 10.11.2025.

The article was submitted 25.09.2024; accepted for publication 10.11.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 188–196.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 188–196.

Научная статья

УДК 674.07

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.018

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЬНЯНОГО МАСЛА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПЧЕЛИНЫМ ВОСКОМ, НА ДРЕВЕСИНЕ АНДИРОБА, ЭКАБЫ И ХАЛЬДУ

Хусейн Пекер¹, Осман Чамлибел², Гексел Улай³, Умит Аята⁴

¹ Университет Артвин Чорух, Артвин, Турция

² Университет Кириккале, Кириккальский профессиональный колледж, Кириккале, Турция

³ Университет Ван Юзюнкюзюль, Ванский профессиональный колледж, Ван, Турция

⁴ Байбуртский Университет, Байбурт, Турция

¹ peker100@artvin.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-7771-6993>

² osmancamlibel@kku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8766-1316>

³ gokselulay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4080-8816>

⁴ umitayata@yandex.com, <http://orcid.org/0000-0002-6787-7822>

Аннотация. В настоящее время на рынке доступны химические средства на основе пчелиного воска для защиты древесных материалов. Применение этих продуктов создает гладкое покрытие на поверхности, что улучшает сопротивление влаге, грязи и другим внешним воздействиям. Кроме того, это улучшает внешний вид древесины, подчеркивая ее природный цвет и увеличивая блеск. В данном исследовании рассматриваются изменения цветовых параметров, вызванные применением льняного масла, модифицированного пчелиным воском, на древесине халду (*Adina cordifolia*), экабы-экоп (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.) и крабвуд (*Carapa guianensis*). Масло наносилось на поверхность древесины в одном слое. Сравнивались поверхности с обработкой маслом и без нее. Общие различия в цвете показали значения ΔE^* 15,03 для экабы, 12,48 для крабвуда и 13,75 для халду. Статистический анализ показал значительные различия во всех тестах. Для всех видов древесины применение льняного масла, модифицированного пчелиным воском, привело к снижению значений h° и L^* , в то время как значения C^* , b^* и a^* увеличились.

Ключевые слова: экоп, халду, крабвуд, пчелиный воск, цвет, льняное семя

Для цитирования: Применение льняного масла, модифицированного пчелиным воском, на древесине андироба, экабы и хальду / Х. Пекер, О. Чамлибел, Г. Улай, У. Аята // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 188–196.

Original article

APPLICATION OF LINSEED OIL-MODIFIED BEESWAX ON ANDIROBA, EKABA AND HALDU WOODS

Hyusejin Peker¹, Osman Chamlybel², Gyoksel Ulay³, Umit Ayata⁴

¹ Artvin Choruh University, Artvin, Turkey

² Kyrykkale University, Kyrykkale Vocational School, Kyrykkale, Turkey

³ Van Yuzuncu Yil University, Van Vocational School, Van, Turkey

⁴ Bayburt University, Bayburt, Turkey

¹ peker100@artvin.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-7771-6993>

² osmancamlibel@kku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8766-1316>

³ gokselulay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4080-8816>

⁴ umitayata@yandex.com, <http://orcid.org/0000-0002-6787-7822>

Abstract. Currently, bee wax-derived products are commercially available for the protection of wood materials. Applying these products creates a smooth coating on the surface, which improves resistance to moisture, dirt, and other environmental elements. Furthermore, it boosts the aesthetic of the wood, highlighting its natural color and enhancing its gloss. This research examines the changes in color parameters caused by the application of bee wax-modified linseed oil to the woods of haldu (*Adina cordifolia*), ekaba-ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.), and crabwood (*Carapa guianensis*). The oil application was made to the wood material surfaces in a single coat. The surfaces with and without oil treatment were compared. The total color differences yielded ΔE^* values of 15,03 for ekaba, 12,48 for crab, and 13,75 for haldu. Statistical analysis showed significant differences in all tests. For all wood species, the application of bee wax-modified linseed oil resulted in reductions in h^* and L^* values, while increases were observed in C^* , b^* , and a^* values.

Keywords: ekop, haldu, crabwood, beeswax, color, flaxseed

For citation: Application of linseed oil-modified beeswax on andiroba, ekaba and haldu woods / H. Peker, O. Chamlybel, G. Ulay, U. Ayata // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4(95). P. 188–196.

Introduction

Products made from wood materials are subjected to deterioration due to various physical effects such as the humidity of the environment and the damaging effects of the air (rain, dew, etc.), various chemical substances or environmental pollution in internal or external conditions (staining, loss of structural properties, etc.), and mechanical effects (impact, friction, wear, collision, etc.). Additionally, dust and pollution shorten the lifespan of items. Microorganisms, known as very small organisms (plant or animal pests), deteriorate wood in order to sustain their life (Özdemir, 2003).

When wood material surfaces are not coated with varnish or other substances, they are susceptible to chemical or biological degradation from the

surrounding environment. To prevent these negative effects, it has been found that applying varnish or surface treatments to the material's surface produces beneficial outcomes (Örs and Atar, 2000).

The durability of organic coatings applied to wood for outdoor use is mainly influenced by three key factors. These factors, either individually or through their interactions, contribute to the degradation and damage of the coatings. They include the surface instability of the wood, the impact of weather conditions due to atmospheric influences, and the aging processes that occur in polymers after they solidify (Deguez, 1997).

Natural oils offer several advantages when used as wood floor coverings, including ease of application and repair, as well as excellent durability. These

oil-based finishes do not crack, peel, or blister. They create a natural ambiance and provide a pleasant “silk-like” feel when walked on. Despite their perceived softness and lower resistance to abrasion, natural oil finishes are well-suited for high-traffic public spaces, such as dance floors and restaurants. This is primarily due to their simplicity in maintenance and repair (Kähr, 2005; French Union..., 2005; Koubaa, 2007).

Waxes, oils, and paraffin can penetrate wood, improving its hydrophobic properties by filling the cell cavities (Brischke, 2019).

Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.), commonly referred to as linseed, has been valued since ancient times for its use in both fiber and oil production. India is the fourth-largest oilseed producer globally and ranks third in flaxseed production, with approximately 2,009,100 tons of flaxseed harvested annually. Although flax is primarily grown in lowland temperate climates, it can thrive successfully up to an altitude of 770 meters. Flax has been cultivated for many years as a cash crop, mainly for its oil, which is utilized in various industrial applications and as a nutritional supplement (Chauhan et al., 2009; Effect of auxin..., 2013). Flaxseed meal is composed of

35–40 % protein and, along with cottonseed and sunflower, accounts for roughly 23 % of the global oilcake/meal production (Hatje, 1989; Sammour, 1999).

This research examines the alterations in color parameters resulting from the application of linseed oil modified with bee wax to the woods of ekop, haldū, and crabwood.

Materials and Methods

In this study, haldū (*Adina cordifolia*), ekab-ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.), and crabwood (*Carapa guianensis*) woods were used. Wood samples were cut to a size of 100×100×20 mm and then subjected to conditioning (ISO 554, 1976). In this study, a mixture of linseed oil and beeswax was applied. The oil was applied to the wood surfaces in a single coat using a brush. Color variations were measured using a CS-10 device (CHN Spec, China) [CIE 10° standard observer; CIE D65 light source, illumination system: 8/d] (ASTM D2244-3, 2007). Table 1 provides the definitions of the other parameters, while the color change range according to Jirouš and Ljuljka (1999) and Lange (1999).

Table I

Color change range according to Jirouš and Ljuljka (1999) and descriptions for ΔL^* , Δa^* , Δb^* , and ΔC^* (Lange, 1999)

ΔE^* Range	Color Change Estimation	ΔE^* Range	Color Change Estimation
< 0,20	Unnoticeable	3,00–6,00	Very noticeable
0,20–0,50	Very slight	6,00–12,00	Intense
0,50–1,50	Light	> 12,00	Very intense
1,50–3,00	Noticeable		

Parameter	In negative case	In positive case
ΔL^*	Darker than reference	Lighter than reference
Δa^*	Greener than reference	Redder than reference
Δb^*	Bluer than reference	More yellow than reference
ΔC^*	Matte, more blurred than reference	Clearer, brighter than reference

The chroma difference, representing the level of saturation, was recorded as ΔC^* , while the hue difference, referring to the shade variation, was noted

as ΔH^* (Lange, 1999). The overall color differences were determined using the formulas outlined below.

$$h^o = \arctan (b^*/a^*), \quad (1)$$

$$\Delta H^* = \left[(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2 \right]^{0.5}, \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{sample with beeswax application}} - C^*_{\text{control}}), \quad (3)$$

$$C^* = \left[(a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{0.5}, \quad (4)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{sample with beeswax application}} - a^*_{\text{control}}), \quad (5)$$

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{0.5}, \quad (6)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{sample with beeswax application}} - L^*_{\text{control}}), \quad (7)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{sample with beeswax application}} - b^*_{\text{control}}). \quad (8)$$

Variance analyses, mean values, homogeneity groups, minimum and maximum values, standard

deviations, and percentage (%) change rates were obtained using a statistical program. Ten measurements were taken per test.

Results and Discussion

The results of total color differences are presented in Table 2. The ΔE^* values were found to be 12,48 for crab, 15,03 for ekaba, and 13,75 for haldu. In all wood species, the ΔL^* values were negative (darker than reference), while the Δa^* , Δb^* , and ΔC^* values were positive (respectively redder than reference, more yellow than reference, and clearer, brighter than reference). In terms of Color change (Jirouš and Ljuljka 1999), all wood species were found to fall into the “very intense (> 12,00)” category (Table 2).

Results of total color differences

Wood Type	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Color Change (Jirouš and Ljuljka, 1999)
Crab	-10,70	5,99	2,27	4,84	4,20	12,48	Very intense (> 12,00)
Ekaba	-10,66	10,28	2,55	8,49	6,33	15,03	
Haldu	-9,01	7,72	6,96	9,62	3,93	13,75	

The analysis of variance results for the L^* parameter are presented in Table 3. All factors and

their interactions were found to be significant for the L^* parameter (Table 3).

Analysis of variance results for the L^* parameter (*: Significant)

Source of Variance	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F Value	$\alpha \leq 0,05$
Wood type (A)	201,689	2	100,844	81,307	0,000*
Beeswax Application (B)	1 538,038	1	1 538,038	1 240,056	0,000*
Interaction (AB)	9,328	2	4,664	3,761	0,030*
Error	66,976	54	1,240	—	—
Total	185 752,957	60	—	—	—
Corrected Total	1 816,031	59	—	—	—

The measurement results for the L^* parameter are presented in Table 4. Reductions in the L^* parameter were observed in all wood species following the beeswax application (17,40 % for crab, 18,33 % for ekaba, and 14,63 % for haldu). The highest L^* values

were found in the control samples (61,55 for crab, 58,16 for ekaba, and 61,59 for haldu), while the lowest values were obtained in the treated samples (50,84 for crab, 47,50 for ekaba, and 52,58 for haldu) (Table 4).

Table 4

Measurement results for the L^* parameter

Wood Type	Beeswax Application	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Coefficient of Variation
Crab	No	61,55	↓17,40	<i>A</i>	0,53	60,41	62,17	0,86
	Yes	50,84		<i>D</i>	0,77	49,72	51,84	1,51
Ekaba	No	58,16	↓18,33	<i>B</i>	1,71	55,69	60,69	2,94
	Yes	47,50		<i>E</i> **	1,00	45,98	48,26	2,10
Haldu	No	61,59	↓14,63	<i>A</i> *	1,44	59,75	63,38	2,33
	Yes	52,58		<i>C</i>	0,77	51,18	53,33	1,46

Number of Measurements: 10, * Highest result, ** Lowest result.

The results of the analysis of variance for the a^* parameter are shown in Table 5. All factors and interactions related to the a^* parameter were found to be significant (Table 5).

Table 5
Analysis of variance results for the a^* parameter (*: Significant)

Source of Variance	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F Value	$\alpha \leq 0,05$
Wood type (A)	290,723	2	145,362	657,618	0,000*
Beeswax Application (B)	958,880	1	958,880	4337,989	0,000*
Interaction (AB)	46,458	2	23,229	105,089	0,000*
Error	11,936	54	0,221	—	—
Total	15965,812	60	—	—	—
Corrected Total	1307,998	59	—	—	—

The measurement results for the a^* parameter are provided in Table 6. Increases in the a^* values were observed in all wood species after the beeswax application (54,06 % for crab, 75,46 % for ekaba, and 75,44 % for haldu). The lowest a^* values were

recorded in the control samples (11,08 for crab, 13,61 for ekaba, and 10,22 for haldu), while the highest values were found in the treated samples (17,07 for crab, 23,88 for ekaba, and 17,93 for haldu) (Table 6).

Table 6
Measurement results for the a^* parameter (*: Significant)

Wood Type	Beeswax Application	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Coefficient of Variation
Crab	No	11,08	↑54,06	<i>E</i>	0,25	10,79	11,61	2,26
	Yes	17,07		<i>C</i>	0,41	16,50	17,61	2,38
Ekaba	No	13,61	↑75,46	<i>D</i>	0,75	12,58	14,90	5,52
	Yes	23,88		<i>A</i> *	0,66	22,90	24,77	2,75
Haldu	No	10,22	↑75,44	<i>F</i> **	0,26	9,67	10,46	2,51
	Yes	17,93		<i>B</i>	0,19	17,70	18,23	1,07

Number of Measurements: 10, * Highest result, ** Lowest result.

The results of the analysis of variance for the b^* parameter are shown in Table 7. All factors and interactions related to the b^* parameter were found to be significant (Table 7).

Analysis of variance results for the b^* parameter (*: Significant)

Source of Variance	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F Value	$\alpha \leq 0,05$
Wood type (A)	425,584	2	212,792	520,115	0,000*
Beeswax Application (B)	231,084	1	231,084	564,827	0,000*
Interaction (AB)	69,042	2	34,521	84,377	0,000*
Error	22,093	54	0,409	—	—
Total	40 623,791	60	—	—	—
Corrected Total	747,802	59	—	—	—

The measurement results for the b^* parameter are presented in Table 8. Increases in b^* values were observed across all wood species following the beeswax application (9,16 % for crab, 12,02 % for ekaba, and 27,37 % for haldu). The lowest b^* values

were identified in the control samples (24,89 for crab, 21,13 for ekaba, and 25,43 for haldu), while the highest values were recorded in the treated samples (27,17 for crab, 23,67 for ekaba, and 32,39 for haldu) (Table 8).

Measurement results for the b^* parameter

Wood Type	Beeswax Application	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Coefficient of Variation
Crab	No	24,89	↑9,16	C	0,52	24,03	25,74	2,10
	Yes	27,17		B	0,41	26,37	27,69	1,51
Ekaba	No	21,13	↑12,02	E**	0,71	19,74	21,88	3,38
	Yes	23,67		D	0,79	22,58	24,87	3,32
Haldu	No	25,43	↑27,37	C	0,58	24,52	26,03	2,29
	Yes	32,39		A*	0,74	31,13	33,21	2,28

Number of Measurements: 10, * Highest result, ** Lowest result.

The calculated variance analysis results for the C^* value are presented in Table 9. All factors and interactions for the C^* parameter were found to be significant (Table 9).

Analysis of variance results for the C^* parameter (*: Significant)

Source of Variance	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F Value	$\alpha \leq 0,05$
Wood type (A)	97,269	2	48,635	104,579	0,000*
Beeswax Application (B)	877,302	1	877,302	1 886,463	0,000*
Interaction (AB)	62,273	2	31,136	66,952	0,000*
Error	25,113	54	0,465	—	—
Total	56 597,318	60	—	—	—
Corrected Total	1 061,957	59	—	—	—

The results for the C^* parameter measurements are shown in Table 10. Beeswax application led to increases in the C^* values across all wood species (17,76 % for crab, 33,72 % for ekaba, and 35,10 % for haldu). The control samples exhibited the lowest

C^* values (27,25 for crab, 25,15 for ekaba, and 27,41 for haldu), while the highest values were identified in the samples treated with modified oil (32,09 for crab, 33,63 for ekaba, and 37,03 for haldu) (Table 10).

Table 10
Measurement results for the C^* parameter

Wood Type	Beeswax Application	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Coefficient of Variation
Crab	No	27,25	↑17,76	D	0,57	26,35	28,24	2,09
	Yes	32,09		C	0,44	31,11	32,50	1,37
Ekaba	No	25,15	↑33,72	E**	0,61	23,59	25,82	2,42
	Yes	33,63		B	0,99	32,22	35,11	2,95
Haldu	No	27,41	↑35,10	D	0,62	26,49	28,05	2,26
	Yes	37,03		A*	0,73	35,81	37,86	1,97

Number of Measurements: 10, * Highest result, ** Lowest result.

The analysis of variance results for the ho value are presented in Table 11. All factors and interactions

for the ho parameter were found to be significant (Table 11).

Table 11
Analysis of variance results for the ho parameter (*: Significant)

Source of Variance	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F Value	$\alpha \leq 0,05$
Wood type (A)	2077,520	2	1 038,760	1 347,368	0,000*
Beeswax Application (B)	1 279,833	1	1 279,833	1 660,061	0,000*
Interaction (AB)	80,873	2	40,437	52,450	0,000*
Error	41,632	54	0,771	—	—
Total	213 465,911	60	—	—	—
Corrected Total	3 479,857	59	—	—	—

The ho parameter measurement results are presented in Table 12. In all wood species, the application of beeswax resulted in reductions in ho values (12,35 % for crab, 21,78 % for ekaba, and 10,41 % for haldu). The highest ho values were

observed in the control samples (66,01 for crab, 57,21 for ekaba, and 68,11 for haldu), whereas the lowest values were detected in the samples treated with oil (57,86 for crab, 44,75 for ekaba, and 61,02 for haldu) (Table 12).

Table 12
Measurement results for the ho parameter

Wood Type	Beeswax Application	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Coefficient of Variation
Crab	No	66,01	↓12,35	B	0,24	65,68	66,31	0,36
	Yes	57,86		D	0,66	57,10	58,62	1,14
Ekaba	No	57,21	↓21,78	D	1,93	53,40	59,63	3,38
	Yes	44,75		E**	0,43	44,16	45,66	0,96
Haldu	No	68,11	↓10,41	A*	0,31	67,55	68,63	0,46
	Yes	61,02		C	0,34	60,37	61,42	0,56

Number of Measurements: 10, * Highest result, ** Lowest result.

Conclusions

For all wood types, the use of bee wax-modified linseed oil led to a decrease in L^* and h^* values, while b^* , C^* , and a^* values showed an increase. In conclusion, the application of bee wax-modified

linseed oil resulted in noticeable changes in the color parameters of all three wood species. Given that the color changes vary across different wood types, it would be advantageous to tailor the application to each species for optimal results.

References

- ASTM D 2244-3. Standard practice for calculation or color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates // ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007. URL: <https://www.astm.org/standards/d2244> (accessed 10.01.2025).
- Brischke C.* Timber // Long-term performance and durability of masonry structures. 2019. P. 129–168. DOI: 10.1016/b978-0-08-102110-1.00005-4
- Chauhan M. P., Singh S., Singh A. K.* Post harvest uses of linseed // Journal of Human Ecology. 2009. № 28. P. 217–219.
- Dieguez J. M.* Finishing of the wood. Outdoor duration and glass transition temperature // AIM. 1997. № 186. P. 60–64.
- Effect of auxin and gibberellic acid on growth and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.) / *A. Rastogi, A. Iddiqui, B. K. Mishra* [et al.] // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2013. № 13. P. 136–143.
- French Union of Parquet Manufacturers and Contractors (UFFEP), Oiled finishes for parquet floors (oil-finishing systems for wood flooring). 2005. 5 p.
- Hatje G.* World importance of oilcrops and their products / *G. Robbelen, R. K. Downey, A. Ashri* (eds.) // Oil Crops of the World. Their Breeding and Utilization. New York : McGraw-Hill Publishing Company, 1989. P. 1–21.
- ISO 554. Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland, 1976. URL: <https://www.iso.org/> (accessed 10.01.2025).
- Jirouz, R. V., Ljuljka B.* Wood color and its changes when exposed to atmospheric influences // Wood Industry. 1999. № 50 (1). P. 31–39.
- Kaahr G.* Kaahrs Technical Manual. Third edition. 2005. 185 p.
- Koubaa A.* Surface properties of oil finished hardwood floorings // ISCHP 07, September 24–26. Québec City, 2007. P. 75–80.
- Lange D. R. Fundamentals of Colourimetry // Application Report № 10e. DR Lange : New York, NY, USA, 1999. URL: <https://dergipark.org.tr/> (accessed 10.03.2024).
- Ors Y., Atar M.* The Effects of Impregnation and Discoloration Process on Varnish Layer Hardness in Sessile Oak *Quercus petraea* spp Wood // Polytechnic Journal. 2000. № 3(49). P. 1–9.
- Ozdemir T.* The Investigation of varnishes' features at same tree species grown in Turkey, Doktora Tezi, K.T.U. Fen Bilimleri Enstitusu, Trabzon, 2003. URL: <http://www.fbe.ktu.edu.tr/> (accessed 10.01.2025).
- Sammour R. H.* Proteins of linseed (*Linum usitatissimum* L.), extraction and characterization by electrophoresis // Botanical Bulletin of Academia Sinica. 1990. № 40. P. 121–126.

Информация об авторах

Х. Пекер – председатель Межвузовского совета, профессор, кандидат технических наук,
peker100@artvin.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-7771-6993>

О. Чамлибел – доктор Ph. D (деревообработка),
osmancamlibel@kku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8766-1316>

Г. Улай – заведующий кафедрой материалов и технологии их обработки, доктор Ph. D (деревообработка),

gokselulay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4080-8816>

У. Аята – руководитель Межвузовского совета, доцент, доктор Ph. D (обработка древесины).

umitayata@yandex.com, <http://orcid.org/0000-0002-6787-7822>

Information about the authors

H. Peker – President of the Interuniversity Board, Prof., Dr. Ph. D (Woodworking), peker100@artvin.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-7771-6993>

O. Chamlibel – Head of Furniture and Decoration Program, Ph. D (Wood processing),

Associate Professor,

osmancamlibel@kku.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8766-1316>

G. Ulay – Head of Material and Material Processing Technology, Ph. D (Wood processing),

Associate Professor,

gokselulay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4080-8816>

Ü. Ayata – Head of Inter-University Council, Associate Prof, Dr. Ph. D (Wood processing).

Graduate School.

umitayata@yandex.com, <http://orcid.org/0000-0002-6787-7822>

Статья поступила в редакцию 26.01.2025; принята к публикации 15.02.2025.

The article was submitted 26.01.2025; accepted for publication 15.02.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 197–205.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 197–205.

Научная статья

УДК 678.7:620.1:661.63:691.175

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.019

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ДРЕВЕСНО НАПОЛНЕННОГО ПВХ С АНТИПИРЕНОМ, ПОЛУЧЕННЫМ АМИНОЛИЗОМ ПЭТФ

М. А. Красильникова¹, А. А. Баёв², М. Н. Тухбатулин³,
А. Е. Шкуро⁴, А. В. Артемов⁵

^{1–3} Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России,
Екатеринбург, Россия

^{4, 5} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Шкуро Алексей Евгеньевич,
shkuroae@m.usfeu.ru

Аннотация. В данной работе исследуется влияние антипирена, полученного на основе продуктов аминолиза полиэтилентерефталата (ПЭТФ), на термическое разложение древесно наполненного поливинилхлорида (ПВХ). В ходе исследования были изготовлены образцы древесно наполненного ПВХ с различным содержанием антипирена и подвергнуты термическому анализу методом инфракрасной спектроскопии с целью выявления изменений в составе продуктов разложения. Проведен анализ зольного остатка для оценки влияния антипирена на содержание хлора и формирование остаточных структур. Результаты исследования показали, что введение антипирена изменяет механизм термического разложения древесно наполненного ПВХ, снижая интенсивность выделения хлороводорода, и увеличивает содержание хлора в золе. В спектрах ИК-спектроскопии отмечено увеличение интенсивности пиков, характерных для виниловых эфиров и алифатических соединений, а также снижение интенсивности полос, относящихся к ароматическим структурам. Обнаружены нелинейные изменения в концентрации карбонильных соединений в зависимости от содержания антипирена, что свидетельствует о сложном механизме его воздействия. Таким образом, антипирен на основе продуктов аминолиза ПЭТФ не только снижает горючесть древесно наполненного ПВХ, но и существенно изменяет состав продуктов его термического разложения. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых рецептур огнестойких полимерных композитов с улучшенными характеристиками.

Ключевые слова: композит, ПВХ, древесная мука, антипирен, аминолиз ПЭТФ, огнезащита, продукты разложения, ИК-спектроскопия

Для цитирования: Исследование продуктов разложения древесно наполненного ПВХ с антипиреном, полученным аминолизом ПЭТФ / М. А. Красильникова, А. А. Баёв, М. Н. Тухбатулин [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 197–205.

Original article

RESEARCH OF DECOMPOSITION PRODUCTS OF WOOD-FILLED PVC WITH FIRE RETARDANT PRODUCED BY AMINOLYSIS OF PET

**Margarita A. Krasilnikova¹, Alexander A. Baev², Maxim N. Tukhbatulin³,
Alexey E. Shkuro⁴, Artyom V. Artyomov⁵**

¹⁻³ Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Yekaterinburg, Russia

^{4,5} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Alexey E. Shkuro,
shkuroae@m.usfeu.ru

Abstract. In this work, the effect of a fire retardant obtained on the basis of polyethylene terephthalate (PET) aminolysis products on the thermal decomposition of wood-filled polyvinyl chloride (PVC) is investigated. In the course of the research, samples of wood-filled PVC with different fire retardant contents were prepared and subjected to thermal analysis using infrared spectroscopy in order to detect changes in the composition of the decomposition products. An analysis of the ash residue was carried out to assess the effect of the fire retardant on chlorine retention and the formation of residual structures. The results of the research showed that the introduction of the fire retardant changes the mechanism of thermal decomposition of wood-filled PVC, reducing the intensity of hydrogen chloride release and increasing the chlorine content in the ash. An increase in the intensity of peaks characteristic of vinyl esters and aliphatic compounds, as well as a decrease in the intensity of belts related to aromatic structures were noted in the IR spectroscopy spectra. Nonlinear changes in the concentration of carbonyl compounds depending on the content of the fire retardant were found, which indicates a complex mechanism of its action. Thus, the fire retardant based on the products of PET aminolysis not only reduces the flammability of wood-filled PVC, but also significantly changes the composition of the products of its thermal decomposition. The results obtained can be used to develop new formulations of fire resistant polymer composites with improved characteristics.

Keywords: composite, PVC, wood flour, fire retardant, PET aminolysis, fire protection, decomposition products, IR spectroscopy

For citation: Research of decomposition products of wood-filled PVC with fire retardant produced by aminolysis of PET / M. A. Krasilnikova, A. A. Baev, M. N. Tukhbatulin [et al.] // Forests of Russia and economy of them. 2025. № 4 (95). P. 197–205.

Введение

Поливинилхлорид (ПВХ) является одним из наиболее широко используемых синтетических термопластичных полимеров и занимает второе место среди полимерных материалов, применяемых в производстве древесно-полимерных композитов (ДПК) после полиэтилена (Mechanical and Processing..., 2024). Такое распространение обусловлено его высокой механической прочностью, жесткостью, устойчивостью к погодным условиям

и относительно низкой стоимостью (Lewandowski, Skorczewska, 2022). Существенным недостатком ПВХ является его пожарная опасность. Введение в состав ДПК древесной муки значительно снижает огнестойкость материала, что делает необходимым использование специальных антиприренов (Стойкость..., 2022).

Антиприрены представляют собой широкий класс добавок, препятствующих горению. Среди них выделяют галогенсодержащие соединения,

фосфорсодержащие вещества, минеральные наполнители и вспучивающиеся покрытия. Однако при их применении важно учитывать влияние на физико-механические свойства ПВХ, так как некоторые антиприены могут ухудшать прочность, ударную вязкость или гибкость материала (Добавки для понижения..., 2022). В связи с этим особый интерес представляют антиприены, полученные на основе продуктов деструкции синтетических полимеров, таких как полиуретан, поликарбонат и полиэтилентерефталат (ПЭТФ) (Ислентьев, Балакин, 2016; Балакин, Галлямов, 2015; Сравнительная оценка..., 2013; Огнезащитные составы..., 2012).

Продукты аминолиза ПЭТФ являются перспективным сырьем для создания эффективных антиприенов. Они могут быть фосфорилированы по реакции Кабачника – Филдса с получением фосфорорганических соединений, обладающих выраженным огнезащитным свойствами (Огнезащитные составы..., 2012). Экспериментальные исследования показали, что применение таких составов при обработке древесины смещает температурный диапазон её разложения, способствует дегидратации и карбонизации, а также формированию защитного слоя угля, препятствующего быстрому распространению огня.

Важной задачей является детальное изучение механизма действия антиприенов на основе продуктов аминолиза ПЭТФ при их внедрении в состав ДПК с полимерной фазой ПВХ. Включенные в состав данных антиприенов амиды терефталевой кислоты могут не только повышать огнестойкость материала, но и оказывать пластифицирующий эффект, улучшая распределение наполнителя в полимерной матрице. Комплексное исследование их термического поведения, взаимодействия с компонентами ПВХ и влияния на формирование защитных углеродных структур позволит разработать новые эффективные огнезащитные системы для древесно-полимерных композитов, обеспечивая их безопасность и долговечность.

Цель исследования – изучение влияния антиприена на основе продуктов аминолиза ПЭТФ на термическое разложение древесно наполненного

ПВХ с анализом остаточного состава золы и изменений в функциональных группах по данным ИК-спектроскопии.

Задачи исследования:

- получение образцов древесно наполненного ПВХ с различным содержанием антиприена;
- анализ термического разложения образцов методом ИК-спектроскопии для выявления изменений в составе продуктов разложения;
- исследование зольного остатка с целью определения влияния антиприена на удержание хлора и формирование остаточных структур;
- выявление закономерностей изменения содержания в золе функциональных групп в зависимости от концентрации антиприена;
- оценка эффективности антиприена с точки зрения снижения горючести и влияния на механизм разложения древесно наполненного ПВХ.

Объекты

и методика исследований

Для получения образцов древесно наполненного ПВХ использовали супензионный поливинилхлорид марки SG-5 (ТУ 2212-012-46696320-2008) и древесную муку марки 180 (ДМ, ГОСТ 16361-87). В качестве пластификаторов – дибутилфталат (ДБФ, ГОСТ 8728-77) и трибутилфосфат (ТБФ, ТУ 2435-305-05763458-2001). Для повышения огнестойкости образцов древесно наполненного ПВХ был использован антиприрен, полученный фосфорилированием продуктов аминолиза ПЭТФ согласно методике, изложенной в работе (Огнезащитные составы..., 2012). Смешение компонентов проводилось методом вальцевания при температуре 170–175 °С. Рецептуры образцов древесно наполненного ПВХ приведены в табл. 1.

Из полученных методом вальцевания листов вырезались стандартные образцы для испытаний на огнестойкость (рис. 1). Испытаниям подвергают образцы, не имеющие вздутий, трещин, сколов, раковин, зазубрин, заусенцев и отверстий. Края образцов должны быть гладкими, радиус закругления углов не должен превышать 1,3 мм.

Образцы подвергались испытаниям на огнестойкость согласно методике, изложенной в работе

(Красильникова и др., 2025). Затем нижнюю часть образца, наиболее подвергшуюся воздействию пламени в ходе эксперимента, срезали на расстоянии 2 см от нижней границы. После охлаждения жидким азотом до температуры ниже температуры хрупкости материал измельчали в агатовой ступке до порошкообразного состояния. Полученный порошок прессовали с бромидом калия в таблетки,

которые затем анализировали методом ИК-спектроскопии.

Изучение химического состава продуктов термического разложения образцов древесно наполненного ПВХ проводилось с использованием метода инфракрасной спектроскопии на лабораторном инфракрасном Фурье-спектрометре марки ФСМ-2203.

Таблица I
Table I

Рецептуры образцов древесно наполненного ПВХ
Wood-filled PVC sample recipes

№	Содержание компонента, мас. ч. Component content, pts. wt.					Содержание антипирена, мас. % Fire retardant content, wt. %
	ПВХ PVC	ДБФ DBP	ТБФ TBP	ДМ WF	Антипирен Fire retardant	
1	100	15	10	25	0,0	0,0
2	100	15	10	25	5,0	3,2
3	100	15	10	25	10,0	6,3
4	100	15	10	25	15,0	9,1
5	100	15	10	25	20,0	11,8

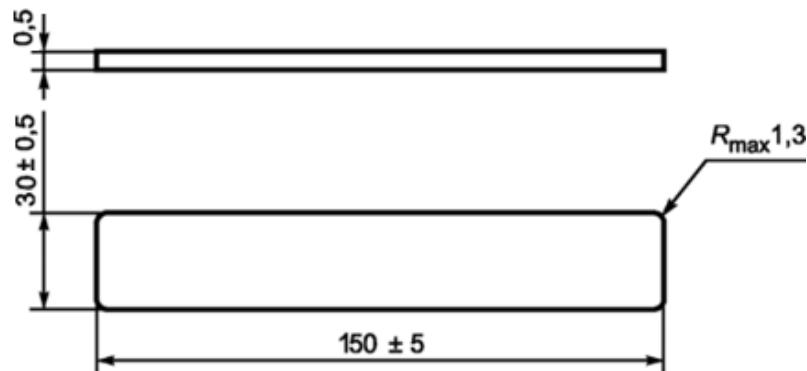


Рис. 1. Образец для испытаний на огнестойкость
Fig. 1. Fire resistance test sample

Результаты и их обсуждение

ИК-Фурье спектры золы образцов древесно наполненного ПВХ представлены на рис. 2. Интенсивность характеристических пиков и их интерпретация приведены в табл. 2.

В результате введения антипирена в состав древесно наполненного ПВХ (степень наполнения порядка 30 мас. %) были получены четыре ком-

позиции, содержащие 0, 3,2, 6,3, 9,1 и 11,8 мас. % антипирена. Образцы подверглись воздействию пламени, после чего был проведен анализ состава золы и ИК-спектроскопия остатков. Установлено, что с увеличением содержания антипирена возрастает содержание хлора в золе, а также наблюдаются изменения в интенсивности ряда характерных полос в ИК-спектрах.

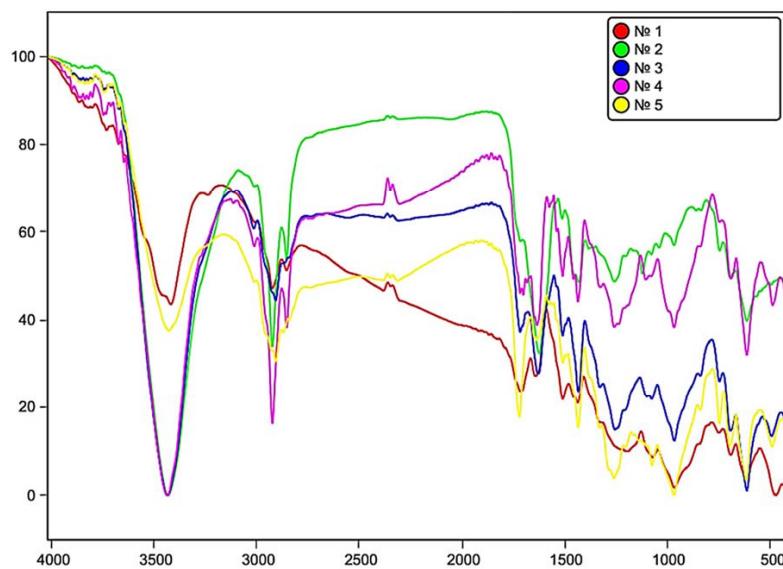


Рис. 2. ИК-спектры золы образцов древесно наполненного ПВХ
Fig. 2. IR spectra of ash from wood-filled PVC samples

Таблица 2
Table 2

Интенсивность характеристических пиков и их интерпретации
Intensity of characteristic peaks and their interpretation

№	Максимум, см^{-1} Maximum, cm^{-1}	Интерпретация Interpretation	Относительная площадь пика для образца композита Relative peak area for composite sample				
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1	610	Хлор Chlorine	1,0	1,1	2,1	1,2	1,8
2	964	Деформационные колебания =C—H (характерны для винильных соединений, алkenов) Deformation vibrations =C—H (characteristic of vinyl compounds, alkenes)	2,1	—	2,9	—	3,4
3	1072	Хлор/Валентные колебания C—O (характерны для эфиров, спиртов, сложных эфиров) Chlorine/stretching vibrations C—O (characteristic of ethers, alcohols, esters)	—	—	—	—	0,2
4	1435	Деформационные колебания C—H в CH_2 -группах (характерны для алканов, алкильных групп) Deformation vibrations of C—H in CH_2 groups (characteristic of alkanes, alkyl groups)	0,2	0,3	1,4	0,7	1,7
5	1508	Колебания C=C в ароматических кольцах (характерны для бензольных соединений) C=C vibrations in aromatic rings (characteristic of benzene compounds)	0,9	—	—	—	—
6	1714	Валентные колебания C=O (характерны для кетонов, альдегидов, сложных эфиров, карбоновых кислот) Stretching vibrations of C=O (characteristic of ketones, aldehydes, esters, carboxylic acids)	1,4	0,7	0,9	0,2	3,5
7	2925	Валентные колебания C—H в группах CH , CH_2 и CH_3 (характерны для алканов, алифатических соединений) Stretching vibrations of C—H in CH , CH_2 and CH_3 groups (characteristic of alkanes, aliphatic compounds)	1,2	4,3	1,8	1,7	—

Рост содержания хлора в золе при увеличении концентрации антипирена может быть объяснен изменением механизма термического разложения древесно наполненного ПВХ. В обычных условиях при нагревании ПВХ выделяет хлороводород, который уходит в газовую фазу. Однако антипирен может стабилизировать разложение, способствуя увеличению содержания хлора в непрогоревшем остатке. Это может быть связано с подавлением дегидрохлорирования ПВХ, формированием термостойких хлорсодержащих соединений и катализитическим воздействием антипирена, изменяющим механизм разложение макромолекул ПВХ.

В ИК-спектрах также наблюдается рост интенсивности полос, характерных для виниловых эфиров. Это может быть связано с тем, что антипирен изменяет путь разложения древесно наполненного ПВХ, подавляя процессы дегидрохлорирования и ароматизации. В результате образуется больше кислородсодержащих соединений, таких как виниловые эфиры. Возможные причины включают катализитическое воздействие антипирена, способствующее образованию эфиров, ингибирование образования полиеновой цепи и реакции между разлагающимся ПВХ и продуктами распада антипирена.

С увеличением содержания антипирена возрастает интенсивность пиков, характерных для деформационных колебаний связи С–Н в CH_2 -группах (1400 – 1450 cm^{-1}). Это свидетельствует о росте доли насыщенных алифатических структур в продуктах разложения древесно наполненного ПВХ. Причины этого явления могут включать подавление дегидрохлорирования, изменение пути разложения ПВХ, приводящее к образованию алкильных фрагментов, а также радикальные реакции разрыва цепей, увеличивающие долю насыщенных углеводородов.

С увеличением концентрации антипирена наблюдается исчезновение полосы 1508 cm^{-1} , характерной для колебаний С=С в ароматических кольцах. Это указывает на снижение количества ароматических структур в продуктах разложения, что согласуется с увеличением доли алифатических соединений. Это объясняется подавлением дегидрохлорирования и последующей ароматиза-

ции, снижением выхода полиенов, которые являются предшественниками ароматических систем, и изменением пути термического разложения в сторону насыщенных фрагментов.

В области 1710 cm^{-1} , характерной для карбонильных соединений (альдегиды, карбоновые кислоты, сложные эфиры), интенсивность пика сначала высокая, затем падает, а при максимальном содержании антипирена снова возрастает. Такой нелинейный характер изменений может быть объяснен следующим образом: при низком содержании антипирена идет окислительное разложение, формируется значительное количество карбонильных соединений; при среднем содержании антипирена он стабилизирует разложение, снижая долю кислородсодержащих продуктов и уменьшая интенсивность С=О пика; при высоком содержании антипирена он сам участвует в реакциях, катализируя образование карбонильных соединений, что снова увеличивает интенсивность пика.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что введение антипирена на основе продуктов аминолиза ПЭТФ в состав древесно наполненного ПВХ значительно изменяет механизм его термического разложения. Основные наблюдаемые эффекты включают:

- снижение интенсивности выделения хлороводорода и увеличение содержания хлора в золе;
- рост интенсивности пиков, характерных для виниловых эфиров, объясняемый изменением пути разложения ПВХ;
- увеличение доли алифатических соединений, что подтверждается ростом CH_2 -групп;
- подавление образования ароматических структур и нелинейное изменение содержания карбонильных соединений, зависящее от концентрации антипирена.

Таким образом, применение антипирена на основе продуктов аминолиза ПЭТФ не только снижает горючесть древесно наполненного ПВХ, но и значительно меняет состав продуктов его разложения. Понимание механизма действия огнезащитной добавки необходимо для оптимизации рецептур огнестойких полимерных композиций.

Выводы

1. Исследование показало, что антиприрен на основе продуктов аминолиза ПЭТФ изменяет механизм термического разложения древесно-наполненного ПВХ. С увеличением содержания антиприрена снижается интенсивность выделения хлороводорода и возрастает содержание хлора в продуктах разложения поливинилхлорида.

2. Кроме того, ИК-спектроскопия выявила рост полос, характерных для виниловых эфиров и алифатических структур, а также уменьшение интенсивности пиков, характерных для ароматических соединений (1508 см^{-1}), что свидетельствует о подавлении процессов дегидрохлорирования

и ароматизации продуктов разложения ПВХ. Интенсивность полосы с максимумом в области 1710 см^{-1} , связанная с присутствием в соединении карбонильной группы, изменяется нелинейно, достигая максимума при наибольшем содержании антиприрена.

3. Продукты аминолиза ПЭТФ эффективны, как антиприрены для древесно-наполненного ПВХ, снижают образование летучих хлорсодержащих соединений и ароматических структур, а также способствуют формированию термостойких остатков. Полученные данные могут быть полезны для разработки огнестойких полимерных материалов.

Список источников

- Балакин В. М. Галлямов А. А. Синтез и свойства азотфосфорсодержащих огнезащитных составов на основе продуктов аминолиза полиуретанов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 7 (164). С. 135–138.
- ГОСТ 16361–87. Мука древесная. Технические условия : Государственный стандарт. М. : Изд-во стандартов, 1987. 7 с.
- ГОСТ 8728–77. Пластификаторы. Технические условия : Государственный стандарт. М. : Изд-во стандартов, 1977. 12 с.
- Добавки для понижения горючести полимеров / И. И. Зарипов, И. Н. Вихарева, Е. А. Буйлова [и др.] // Нанотехнологии в строительстве : науч. интернет-журнал. 2022. Т. 14, № 2. С. 156–161. DOI: 10.15828/2075-8545-2022-14-2-156-161
- Ислентьев С. В., Балакин В. М. Фосфорсодержащая огнезащитная композиция для древесных материалов на основе азотсодержащих продуктов деструкции поликарбоната моноэтаноламином // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 4 (183). С. 113–120.
- Красильникова М. А., Баёв А. А., Шкуро А. Е. Получение огнестойких древесно-полимерных композитов на основе поливинилхлорида // Деревообрабатывающая промышленность. 2025. № 1. С. 45–53.
- Lewandowski K., Skórczewska K. A Brief Review of Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Recycling // Polymers. 2022. Vol. 14. P. 3035.
- Mechanical and Processing Properties of Plasticized PVC/Wood Composites / K. Lewandowski, P. Altmajer, Z. Borkowska, K. Skórczewska // Polymers. 2024. Vol. 16. P. 2204. DOI: 10.3390/polym16152204
- Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолиза диаминами и полиаминами / М. А. Красильникова, В. М. Балакин, А. В. Стародубцев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 2. С. 27–30.
- Сравнительная оценка огнезащитных свойств фосфорсодержащих антиприренов на основе продуктов аминолиза полиэтилентерефталата / М. А. Красильникова, В. М. Балакин, А. В. Стародубцев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 4. С. 29–31.
- Стойкость древесно-полимерных композитов к горению / С. Ф. Мельников, В. М. Шаповалов, К. В. Овчинников [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 3. С. 42–48. DOI: 10.32864/polymmattech-2022-8-3-42-48

ТУ 2212-012-46696320-2008. Поливинилхлорид суспензионный «Саянский». URL: <https://docs.cntd.ru/document/415961671> (дата обращения: 01.04.2025).

ТУ 2435-305-05763458-01. Трибутилфосфат технический. URL: <https://www.nvah.ru/page12939.html> (дата обращения: 01.04.2025).

References

- Additives for reducing the flammability of polymers / I. I. Zaripov, I. N. Vikhareva, E. A. Buylova [et al.] // Nanotechnology in construction: scientific online journal. 2022. Vol. 14, № 2. P. 156–161. DOI: 10.15828/2075-8545-2022-14-2-156-161 (In Russ.)
- Balakin V. M, Gallyamov A. A. Synthesis and properties of nitrogen-phosphorus-containing fire retardant compositions based on polyurethane aminolysis products // Bulletin of the Volgograd State Technical University. 2015. № 7 (164). P. 135–138. (In Russ.)
- Comparative assessment of fire retardant properties of phosphorus-containing fire retardants based on polyethylene terephthalate aminolysis products / M. A. Krasilnikova, V. M. Balakin, A. V. Starodubtsev [et al.] // Fire and explosion safety. 2013. Vol. 22, № 4. P. 29–31. (In Russ.)
- Fire Resistance of Wood-Polymer Composites / S. F. Melnikov, V. M. Shapovalov, K. V. Ovchinnikov [et al.] // Polymer Materials and Technologies. 2022. Vol. 8, № 3. P. 42–48. DOI: 10.32864/polymmattech-2022-8-3-42-48 (In Russ.)
- Fire retardant compositions for wood based on aminolysis products with diamines and polyamines / M. A. Krasilnikova, V. M. Balakin, A. V. Starodubtsev [et al.] // Fire and explosion safety. 2012. Vol. 21, № 2. P. 27–30. (In Russ.)
- GOST 16361-87. Wood flour. Technical specifications : State standard. Moscow : Publishing House of standards, 1987. 7 p.
- GOST 8728-77. Plasticizers. Technical specifications : State standard. Moscow : publishing House of standards, 1977. 12 p.
- Islentyev S. V., Balakin V. M. Phosphorus-containing fire retardant composition for wood materials based on nitrogen-containing products of polycarbonate degradation by monoethanolamine // Bulletin of the Volgograd State Technical University. 2016. № 4 (183). P. 113–120. (In Russ.)
- Krasilnikova M. A., Baev A. A., Shkuro A. E. Production of fire resistant wood-polymer composites based on polyvinyl chloride // Woodworking industry. 2025. № 1. P. 45–53. (In Russ.)
- Lewandowski K., Skórczewska K. A Brief Review of Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Recycling // Polymers. 2022. Vol. 14. P. 30–35.
- Mechanical and Processing Properties of Plasticized PVC/Wood Composites / K. Lewandowski, P. Altmajer, Z. Borkowska, K. Skórczewska // Polymers. 2024. Vol. 16. P. 2204. DOI:10.3390/polym16152204
- TU 2212-012-46696320-2008. Polyvinyl chlorid suspension “Sayansky”. URL: <https://docs.cntd.ru/document/415961671> (accessed 01.04.2025).
- TU 2435-305-05763458-01. Technical tributyl phosphate. URL: <https://www.nvah.ru/page12939.html> (accessed 01.04.2025).

Информация об авторах

Маргарита Александровна Красильникова – научный сотрудник,
krasilnikova79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3103-4719>

Александр Александрович Баев – аспирант 1 года обучения,
pancho.99@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1121-6360>

*Максим Наильевич Тухбатулин – аспирант 2 года обучения,
tuchbatulin93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4586-1143>*

*Алексей Евгеньевич Шкуро – доктор технических наук, доцент,
shkuroae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4016-2269>*

*Артем Вячеславович Артемов – кандидат технических наук, доцент.
artemoav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>*

Information about the authors

*Margarita A. Krasilnikova – scientific associate,
krasilnikova79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3103-4719>*

*Alexander A. Baev – adjunct of the 1st year of study,
pancho.99@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1121-6360>*

*Maxim N. Tukhbatulin – adjunct of the 2nd year of study,
tuchbatulin93@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4586-1143>*

*Alexey E. Shkuro – Doctor of technical Sciences, Associate Professor,
shkuroae@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4016-2269>*

*Artem V. Artemov – Candidate of technical Sciences, Associate Professor.
artemoav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6994-0154>*

Статья поступила в редакцию 10.04.2025; принята к публикации 30.04.2025.

The article was submitted 10.04.2025; accepted for publication 30.04.2025.

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 206–208.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 206–208.

Персоналии
УДК 630.902

Нил Алексеевич Коновалов

К 130-летию со дня рождения

Neil Alekseevich Konovalov

On the 130th anniversary of the birth



Нил Алексеевич родился 12 (25) ноября 1895 г. в г. Осташково Тверской губернии. Отец его был писарем, а мать портнихой. В шестилетнем возрасте он лишился отца, что обусловило раннее приобщение мальчика к труду, в частности сельскохозяйственному.

Первоначальное образование Нил Алексеевич получил в начальной школе и в четырехклассном училище г. Осташкова, а затем в пятом классе реального отделения приюта принца Ольденбургского, где учился наполовину за казенный счет до его окончания в 1912 г.

В 1912–1913 гг. он обучался в психоневрологическом институте г. Петербурга, а затем перешел на статистические курсы.

В начале первой мировой войны Н. А. Коновалов был призван в санитарные части армии и принимал участие в боевых действиях. В 1918 г. после демобилизации из армии он вернулся на статистические курсы. Однако осенью того же года он возвратился в г. Осташков, где устроился работать инструктором в Осташковский союз кооператоров, совмещая работу с преподаванием в школе II ступени. В 1919 г. он стал заведующим статистико-экономического отдела, а в 2020 г. перевелся на работу заведующим инструкторским отделом Тверского губернского потребительского союза.

Одновременно в 1920–1921 гг. Нил Алексеевич обучался на лесном отделении Тверского сельскохозяйственного техникума, а в 1921 г.

поступил в Петроградскую сельскохозяйственную академию. В связи с закрытием в 1922 г. указанной академии Нил Алексеевич был переведен для дальнейшего обучения в Петроградский лесной институт на лесохозяйственное отделение, которое он успешно закончил в 1925 г., получив квалификацию «ученый лесовод».

По отзыву акад. В. Н. Сукачева, Нил Алексеевич, будучи студентом, начал под его руководством научную работу по фитоценологии и лесной типологии. Указанное подвигло его оставаться после окончания института в аспирантуре при кафедре дендрологии и систематике растений.

Обучаясь в аспирантуре, Нил Алексеевич в 1925–1927 гг. вел учебные занятия по фитоценологии, а с первого января 1929 г., после окончания аспирантуры, был назначен ассистентом кафедры энциклопедии лесоводства, которую возглавлял В. В. Гуман.

В том же году его перевели на должность старшего ассистента кафедры геоботаники Ленинградского государственного университета, которой руководил В. Н. Сукачев. В 1930 г. Нил Алексеевич защитил кандидатскую диссертацию и перешел на должность доцента той же кафедры. Работая в университете, Нил Алексеевич участвовал совместно с Н. И. Вавиловым и В. Л. Комаровым в создании заповедника «Лес на Ворскле» и четыре года руководил в нем лесным сектором.

В 1937 г. Нил Алексеевич был избран заведующим кафедрой дендрологии Киевского лесохозяйственного института и, работая там, выполнял ряд научных тем на Украинской центральной опытной станции.

В 1940 г. в Ленинградском университете Нил Алексеевич защитил диссертацию «Дубравы лесостепи РСФСР» на соискание ученой степени доктора биологических наук и в том же году ему было присуждено звание профессора дендрологии.

С началом войны Нил Алексеевич работал со студентами на оборонительных рубежах под Киевом, а затем эвакуировался в направлении Воронежа. Поскольку эшелон разбомбили, Нил Алексеевич вывел студентов в г. Воронеж в пешей колонне, где в Воронежском лесотехническом институте принял на себя руководство кафедрой

дендрологии. Перед приходом немцев в город он вместе с институтом эвакуировался в пос. Лубяны Татарской АССР, а в июне 1943 г. перевелся заместителем директора по учебной и научной работе в Брянский лесотехнический институт, который в это время располагался в г. Советске Кировской области. Одновременно он заведовал в указанном институте кафедрой дендрологии.

После освобождения г. Киева Нил Алексеевич возвратился в Киевский лесотехнический институт, где был назначен заведующим кафедрой дендрологии. Он являлся одним из авторов проекта посадки каштанов на Крещатике.

С 1 января 1946 г. Н. А. Коновалов перевелся в Уральский государственный университет им. А. М. Горького. Практически одновременно, с февраля 1946 г., он работал по совместительству в Уральском лесотехническом институте (УЛТИ) в качестве заведующего кафедрой лесоводства и лесных культур. В 1949 г. возглавляемая им кафедра разделилась на две: лесоводства и лесных культур.

Работая в УГЛТУ, он не только читал курсы лекций по лесоведению, но и активно занимался подготовкой кадров высшей квалификации. Им подготовлено более 60 кандидатов наук в области лесоведения и лесоводства, лесных культур и мелиорации, озеленения городов, селекции древесных пород. Многие из учеников Нила Алексеевича стали позднее докторами наук (Н. А. Луганский, А. К. Махнев, А. С. Чиндяев, В. С. Николаевский, П. П. Петров и др.).

Научные интересы Н. А. Коновалова были многосторонними, что объясняется сложностью изучаемых им объектов – лесных сообществ и древесной растительности, а также разнообразием выполняемых ею функций в природе и жизни общества.

На протяжении всей научной деятельности Нил Алексеевич проявлял интерес к лесотипологическим аспектам. В уральский период работы, помимо публикаций результатов собственных лесотипологических исследований, он большое внимание уделял теоретическим обобщениям и общим итогам изучения типов леса в регионах Урала. По данному направлению им было опубликовано около 30 работ.

Круг научных интересов Нила Алексеевича расширялся по мере изучения лесов Урала, чему во многом способствовало привлечение к работе талантливых учеников. Так, с пятидесятых годов он начал уделять внимание вопросам лесосеменного дела. Результаты данных исследований нашли отражение более чем в 20 работах. Значительное число публикаций посвящалось лесным культурам, лесовосстановлению, лесоводственной эффективности различных видов рубок и взаимоотношениям древесных пород в лесных сообществах.

Особое внимание Нил Алексеевич уделял работам по селекции и интродукции древесных растений, определению смолопродуктивности различных пород и эффективности подсочки. Заслуживают внимания его работы по оценке перспективности древесных растений для озеленения. Украшением г. Екатеринбурга являются выведенные с его участием тополя, в частности тополь белый пирамидальный селекции Н. А. Коновалова.

Для повышения уровня подготовки студентов Н. А. Коноваловым был разработан целый ряд учебных пособий. Даже беглое ознакомление с библиографией основных работ Н. А. Коновалова (включающей 171 публикацию) позволяет представить широту его научных интересов. Реализации научных планов способствовало его умение увлечь своими идеями и помочь в выполнении программы исследований своим многочисленным ученикам, коллегам и последователям.

Помимо педагогической и научной работы, Нил Алексеевич выполнял большую общественную

работу. Он неоднократно избирался депутатом Советов различных уровней, был много лет членом президиума Свердловского обкома профсоюза работников высшей школы и научных учреждений. Состоял членом ученых советов по защите диссертаций в УЛТИ и Институте биологии УФ АН СССР, а позднее Института экологии растений и животных УрО АН СССР. В разное время он был членом Головного Совета по лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и лесному хозяйству Минвуз РСФСР, членом Совета отделения лесоводства и агролесомелиорации ВАСХНИЛ.

За многолетний плодотворный труд по подготовке кадров для лесного комплекса и большую общественную работу Нил Алексеевич награжден орденом Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени и тремя медалями. Ему присвоено почетное звание «Заслуженный лесовод Российской Федерации».

Умер Нил Алексеевич в 1986 г. в Москве, где последний краткий период жил у дочери Лидии Ниловны. Урна с прахом погребена в Екатеринбурге на могиле его жены Александры Петровны.

В память о выдающихся заслугах Нила Алексеевича решением ученого совета УЛТИ его имя присвоено кафедре лесоводства, а портрет помещен в галерею выдающихся людей института в каб. 401 УЛК-1.

Зав. кафедрой лесоводства
им. проф. Н. А. Коновалова,
проф., д-р с.-х. наук,
заслуженный лесовод России
С. В. Залесов

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 209–210.
Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 209–210.

Персоналии
УДК 630.902

Валерий Александрович Щавровский

К 85-летию со дня рождения

**Valery Alexandrovich
Shchavrovsky**

On the 85th anniversary of the birth



Валерий Александрович Щавровский – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор.

Валерий Александрович родился 31 октября 1940 г. в селе Боровуха Полоцкого района Витебской области Республики Беларусь. В 1947 г. поступил и в 1957 г. окончил полный курс Боровухинской средней школы, после чего поступил в Полоцкий лесной техникум, который успешно окончил в 1960 г. После этого был принят на работу в Башкирскую лесоустроительную экспедицию Всесоюзного объединения «Леспроект», откуда в 1961 г. был призван в ряды Советской армии. После службы в 1964 г. поступил и в 1968 г.

с отличием окончил лесохозяйственный факультет Уральского лесотехнического института по специальности «Лесное хозяйство».

В том же году В. А. Щавровский был принят в аспирантуру на кафедру лесоводства указанного института, которую успешно окончил в 1971 г. и 12 августа 1971 г. был распределен ассистентом на кафедру лесоводства. В 1972 г. Валерий Александрович успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук, а 21.09.1973 г. был избран на должность доцента кафедры лесоводства. В 1975 г. ему присвоено звание доцента.

С 1982 по 1983 гг. Валерий Александрович – заведующий кафедрой лесоводства, а с 29.12.1983 по 21.07.1995 гг. – проректор по научной работе Уральской государственной лесотехнической академии.

Работая в Уральском лесотехническом институте, затем в Уральской государственной лесотехнической академии, В. А. Щавровский постоянно повышал свою квалификацию. Так, с октября 1974 по август 1975 гг. проходил стажировку по программе «Пути повышения продуктивности лесов» в сельскохозяйственном колледже в Норвегии.

Основным направлением научных исследований Валерия Александровича было «Повышение продуктивности лесов путем внесения минеральных удобрений». Работая в указанном направлении, он успешно руководил госбюджетными и хоздоговорными темами: «Степень влияния минеральных удобрений на рост и общую продуктивность хвойных лесов», «Влияние минеральных удобрений на выход живицы», «Агротехника применения удобрений в целях повышения устойчивости древостоев к вредным промышленным выбросам». Итог работы – опубликование около 70 научных трудов.

Под его руководством было создано несколько стационарных научных объектов.

Основное внимание в своей работе Валерий Александрович уделял подготовке студентов. Он прекрасно читал лекции по лесоводству студентам трехгодичного отделения лесохозяйственного факультета, руководил подготовкой выпускных квалификационных работ, участвовал в подготовке учебных пособий. Так, в частности, с его непосредственным участием были подготовлены учебные пособия «Основы горного лесоводства» (соавторы Н. А. Коновалов, В. А. Шаргунова, 1977 г.), «Лесоводство. Термины и определения» (соавторы С. В. Залесов, Н. А. Луганский, 1992 г.), «Рубки ухода» (соавторы С. В. Залесов, Н. А. Луганский, Н. Н. Теринов, 1993 г.), «Главные рубки»

(соавторы С. В. Залесов, Н. А. Луганский, 1994 г.), «Повышение продуктивности лесов» (соавторы Н. А. Луганский, С. В. Залесов, 1995 г.), «Лесоведение» (соавторы Н. А. Луганский, С. В. Залесов, 1996 г.), «Лесоводство» (соавторы Н. А. Луганский, С. В. Залесов, 1996 г.).

При проведении научных исследований Валерий Александрович активно привлекал к работе студентов, руководил аспирантами. При его научном руководстве успешно защитили диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук В. Н. Луганский и И. А. Иматова (сопроводитель С. В. Залесов).

По итогам научной и педагогической деятельности В. А. Щавровскому 5 апреля 1995 г. было присвоено ученое звание профессора по кафедре лесоводства.

Валерий Александрович активно участвовал в общественной жизни родной кафедры лесоводства, лесохозяйственного факультета и Уральского лесотехнического института. Он неоднократно избирался секретарем партбюро лесохозяйственного факультета, а с 1978 по 1983 гг. был секретарем партийного комитета института.

Валерий Александрович был прекрасным семьянином и воспитал двух сыновей. Он пользовался высоким авторитетом у студентов и коллег по работе.

За успехи в научной и педагогической деятельности неоднократно награждался руководством института. Награжден медалью «За трудовую доблесть» (1980).

Валерий Александрович скончался 21 июля 1995 г. в полном расцвете творческих сил, не успев реализовать свои планы. Однако память об этом талантливом светлом человеке жива и его дело продолжают ученики и коллеги.

Зав. кафедрой лесоводства
им. проф. Н. А. Коновалова,
проф., д-р с.-х. наук,
заслуженный лесовод России
С. В. Залесов