

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ



БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

2026

Том XLIV
Номер 1

<http://www.sibsau.ru>

Красноярск

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLIV
№ 1

Красноярск
2026

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLIV, № 1

Журнал основан в 1962 г.
(до 2002 г. носил название «Лиственница»).

Выходит 6 раз в год

Главный редактор

Братилова Наталья Петровна, д.с.-х.н. профессор

Ответственный секретарь

Коротков Александр Анатольевич, к.с.-х.н., доцент

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авдеева Елена Владимировна, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Алашкевич Юрий Давыдович, д.т.н., профессор, академик Российской академии образования (РАО) (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Бабич Николай Алексеевич, д.с.-х.н., профессор (САФУ, Архангельск)
Бессчетнов Владимир Петрович, д.б.н., профессор (НГСХА, Нижний Новгород)
Вараксин Геннадий Сергеевич, д.с.-х.н., профессор (Институт леса СО РАН, Красноярск)
Верховец Сергей Владимирович, к.с.-х.н., доцент (проректор по перспективным проектам СФУ, Красноярск)
Выводцев Николай Васильевич, д.с.-х.н., профессор (Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)
Ермолин Владимир Николаевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Залесов Сергей Вениаминович, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Иванов Валерий Александрович, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Кобаяси Рёсукэ, к.с.-х.н. (Центр полевых биосферных исследований Севера, Университет Хоккайдо)
Казаков Яков Владимирович, д.т.н. (САФУ, Архангельск)
Крутовский Константин Валерьевич, профессор (Техасский агромеханический университет, США)
Кузнецов Борис Николаевич, д.х.н., профессор (ИХХТ СО РАН, Красноярск)
Матвеева Римма Никитична, д.с.-х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Мельник Пётр Григорьевич, к.с.-х.н., доцент (МГТУ им. Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет); старший научный сотрудник (Институт лесоведения Российской академии наук)
Муратова Елена Николаевна, д.б.н., профессор (Институт леса СО РАН, Красноярск)
Нагимов Zufar Ягфарович, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Нимц Петер, профессор (Институт строительных материалов и физики древесины (IfB) Высшей швейцарской технической школы (ETH), Цюрих, Швейцария)
Огурцов Виктор Владимирович, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Онучин Александр Александрович, д.б.н., профессор (ИЛ СО РАН, Красноярск)
Пен Роберт Зусьевич, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Плотников Сергей Михайлович, д.т.н., профессор (ИрГУПС, Красноярск)
Прохоров Валерий Николаевич, д.б.н., профессор, член-корреспондент НАН Беларуси (Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь)
Рязанова Татьяна Васильевна, д.т.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Сафин Руслан Рушанович, д.т.н., профессор (Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань)
Селиховкин Андрей Витимович, д.б.н., профессор (СПбЛТА им. Кирова, Санкт-Петербург)
Стороженко Владимир Григорьевич, д.б.н. (Институт лесоведения РАН, Москва)
Субоч Георгий Анатольевич, д.х.н., профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Суховольский Владислав Григорьевич, д.б.н., профессор (ИЛ СО РАН, Красноярск)
Усольцев Владимир Андреевич, д.с.-х.н., профессор (УГЛТУ, Екатеринбург)
Хамитов Ренат Салимович, д.с.-х.н., доцент (РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва)
Шевелев Сергей Леонидович, д.с.-х.н. профессор (СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск)
Якубов Харис Галиулович, д.б.н., профессор (МГУ, Москва)

CONIFERS of the BOREAL AREA

Theoretical and Applied Research Journal

Volume XLIV, No. 1

The journal was founded in 1962
(Prior to 2002 it had the title «Larch»).

Issued 6 times a year

Editor-In-Chief

Dr. Natalia P. Bratilova, Professor

Executive secretary

PhD. Aleksandr A. Korotkov, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

- Avdeeva** Elena V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Alashkevich Yuri D., Dr. Sc. in Engineering, Professor, Academician of the Russian Academy of Education (RAO) (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Babich Nikolay A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk)
Besschetnov Vladimir P., Dr. Sc. in Biology, Professor (Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod)
Ermolin Vladimir N., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Ivanov Valery A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Kazakov Yakov V., Dr. Sc. in Engineering, Associate Professor (Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk)
Khamitov Renat S., Dr. Sc. in Agriculture, Docent (Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow)
Kobayashi Ryosuke, Cand. Sc. in Agriculture (North Field Biosphere Research Center (Hokkaido University)
Krutovsky Konstantin V., Professor (Texas A&M University, College Station, USA)
Kuznetsov Boris N., Dr. Sc. in Chemistry, Professor (Institute of Chemistry and Chemical Technology, Krasnoyarsk)
Matveeva Rimma N., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Melnik Pyotr G., Cand. Sc. in Agriculture, Associate Professor (Bauman Moscow State Technical University (National Research University); Senior Researcher (Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences)
Muratova Elena N. Dr. Sc. in Biology (Professor Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Nagimov Zufar Ya., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Niemz Peter, Professor (Institute for Building Materials and Wood Physics (IfB) at Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland)
Ogurtsov Victor V., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Onuchin Alexandr A., Dr. Sc. in Biology, Professor (Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Pen Robert Z., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Plotnikov Sergey. M., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk)
Prokhorov Valery V., Dr. Sc. in Biology, Professor, Associate Member of the National Academy of Sciences of Belarus (Institute of experimental botany of NAS of Belarus, Minsk, Belarus)
Ryazanova Tatyana V., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Safin Ruslan R., Dr. Sc. in Engineering, Professor (Kazan National Research Technological University, Kazan)
Selikhovkin Andrey V., Dr. Sc. in Biology, Professor (Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy)
Shevelev Sergei L., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Storojenko Vladimir G., Dr. Sc. in Biology, Professor (Institute of Forest Sciences, Moscow)
Suboch Georgii A., Dr. Sc. in Chemistry, Professor (Reshetnev University, Krasnoyarsk)
Soukhovolsky Vladislav G., Dr. Sc. in Biology, Professor (Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Varaksin Gennady S., Dr. Sc. in Agricultural (Professor Institute of Forest, Krasnoyarsk)
Verkhovets Sergei V., Cand. Sc. in Agriculture, Docent (Vice-Rector for Advanced Projects of SFU, Krasnoyarsk)
Vyvodtsev Nikolay V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Pacific National University, Khabarovsk)
Usoltsev Vladimir A., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Zalesov Sergey V., Dr. Sc. in Agriculture, Professor (Ural State Forestry University, Ekaterinburg)
Yakubov Haris H. Dr. Sc. in Biology, Professor (Moscow State University, Moscow)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-70531 от 25 июля 2017 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Certificate of Registration as a Mass Media Resource.
Certificate: PI No. FC77-70531, dated 25 July 2017,
given by The Federal Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Media

Статьи в журнале публикуются бесплатно после обязательного рецензирования
и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.hbz.sibsau.ru).

Журнал выходит 6 раз в год.

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки
(<http://www.elibrary.ru>) и сайте журнала (<https://hbz.sibsau.ru/>)

При перепечатке или цитировании материалов из журнала
«Хвойные бореальной зоны» ссылка обязательна

Номер подписного индекса в каталоге «Книга-Сервис» Е63087, «Пресса России» 63087

Учредитель и издатель

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева» (СибГУ им. М. Ф. Решетнева)

Адрес учредителя и издателя

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, 660037, Красноярск,
проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31

Адрес редакции

Российская Федерация, 660049, Красноярск, просп. Мира, 82, каб. ц-01а
Редакция журнала «Хвойные бореальной зоны»
Тел. (391) 222-73-58, e-mail: hbz@sibsau.ru, www.hbz.sibsau.ru

Address: Editorial office of the journal “Conifers of the Boreal Area”
82, Mira Av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation.
Department of Forest Plantation
Phone: (391) 222-73-58, e-mail: hbz@sibsau.ru, www.hbz.sibsau.ru

Ответственный редактор А. А. Коротков.
Корректор П. С. Бороздов. Оригинал-макет и верстка Л. В. Звонаревой.

Подписано в печать 25.02.2026. Дата выхода в свет 31.03.2026. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 11,85. Уч.-изд. л. 15,0. Тираж 700 экз.
Заказ 3674. С 1244/26. Цена свободная.

Редакционно-издательский отдел СибГУ им. М. Ф. Решетнева.
660037, Красноярский край, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
E-mail: rio@mail.sibsau.ru. Тел. (391) 291-90-96.

Отпечатано в редакционно-издательском центре СибГУ им. М. Ф. Решетнева.
660049, Красноярский край, г. Красноярск, просп. Мира, 82. Тел. (391) 222-73-28.

Содержание

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ, ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Лагутин А. А., Хамитов Р. С., Хамитова С. М., Василевский Г. А. Анализ влияния поллардинга на жизненное состояние древостоев <i>Tilia cordata</i> в условиях городской среды (на примере г. Москвы)	7
Выводцев Н. В. Закономерности изреживания одновозрастных лиственничников	14
Рунова Е. М., Денисенко А. В. Некоторые особенности развития семян сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) с закрытой корневой системой в питомнике и на лесокультурной площади	21
Адамович И. Ю., Сиваков В. В., Челак Д. В. Использование информационных технологий при определении проективного покрытия эпифитных лишайников в лишеноиндикации	28
Башегуров К. А., Белов Л. А., Кочегаров И. С., Оплетаев А. С., Залесов С. В. Эффективность использования посадочного материала с открытой и закрытой корневыми системами при создании лесных культур в Курганской области	34
Плюха Н. И., Усольцев В. А., Часовских В. П. К методике оценки квалитетических показателей ствола по их значениям на высоте груди на примере естественных сосняков и культур	41
Иванов В. А., Иванова Г. А., Пономарев Е. И., Бакшеева Е. О. Классифицирование территории Красноярского края по опасности возникновения лесных пожаров от гроз	50
Вайс А. А., Слесарева Д. В., Данилюк Д. Я. Норматив по восстановлению диаметров на высоте груди сосновых древостоев с учётом формы нижней части стволов деревьев	61
Сизых А. П., Осколков В. А., Воронин В. И., Гриценюк А. П. Современные тенденции формирования лесов на контакте высотных поясов в Юго-Восточном Прибайкалье	73

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Зарипов Ш. Г., Посыпанов С. В. Ультрафильтрация – основополагающий процесс при конвективной сушке лиственничных пиломатериалов	81
--	----

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Третьякова И. Н., Лукина А. В. Стратегия создания многоцелевых плантаций хвойных деревьев с использованием биотехнологии соматического эмбриогенеза (на примере <i>Pinus sibirica</i>)	89
Кох Ж. А., Коротков А. А. Современные биотехнологические подходы к переработке и сохранению лекарственных растений (на примере <i>Orthilia secunda</i> L.)	95

Авторская ссылка	102
------------------------	-----

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Lagutin A. A., Khamitov R. S., Khamitova S. M., Vasilevskiy G. A. Analysis of the impact of pollarding on the vitality of <i>Tilia cordata</i> trees in an urban environment (on the example of Moscow)	7
Vyvodtsev N. V. Regularities of thinning of even-aged larch forests	14
Runova E. M., Denisenko A. V. Some features of the development of scots pine seedlings (<i>Pinus sylvestris</i> L.) with closed root system in the nursery and on the forest area	21
Adamovich I. Yu., Sivakov V. V., Chelak D. V. Use of information technologies in determining the projective coverage of epiphytic lichens in lichenology	28
Bashegurov K. A., Belov L. A., Kochegarov I. S., Opletaev A. S., Zalesov S. V. Efficiency of using open- and closed-root planting material by creating forest crops in the Kurgan region	34
Plyukha N. I., Usoltsev V. A., Chasovskikh V. P. On the methodology for assessing the qualimetric parameters of the tree stems by their values at breast height using the example of natural and artificial <i>Pinus sylvestris</i>	41
Ivanov V. A., Ivanova G. A., Ponomarev E. I., Baksheeva E. O. Classification of the Krasnoyarsk territory by the risk of forest fires from thunderstorms	50
Vais A. A., Slesareva D. V., Danylyuk D. Ya. Standard for restoring breast-height diameters of pine stands taking into account the shape of tree trunk	61
Sizykh A. P., Oskolkov V. A., Voronin V. I., Gritsenyuk A. P. Modern trends in forests formation at the contact of height belts in south-eastern Pre-Baikal	73

TECHNOLOGY OF HARVESTING AND MECHANICAL PROCESSING OF WOOD

Zaripov Sh. G., Posypanov S. V. Ultrafiltration is a fundamental process in the convective drying of larch lumber	81
--	----

CHEMICAL PROCESSING TECHNOGY

Tretyakova I. N., Lukina A. V. Strategy for creating multipurpose coniferous plantations using somatic embryogenesis biotechnology (case study of <i>Pinus sibirica</i>)	89
Kokh Zh. A., Korotkov A. A. Contemporary biotechnological strategies for the processing and preservation of medicinal plants: <i>Orthilia secunda</i> L. as a model object	95
Author's link	102

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛЛАРДИНГА НА ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ *Tilia cordata* В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ)

А. А. Лагутин, Р. С. Хамитов, С. М. Хамитова, Г. А. Василевский

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: alexlagutin@rgau-msha.ru

Аннотация. В статье проведено сравнительное исследование жизненного состояния кронированных (методом поллардинга) и некронированных деревьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях городской среды г. Москвы. Комплексная оценка включала визуальный анализ по методу В. А. Алексеева и инструментальную диагностику с использованием ультразвукового томографа Arbotom для выявления внутренних дефектов древесины. Результаты демонстрируют более высокую жизнеспособность и устойчивость кронированных экземпляров. Установлена значительная распространенность скрытых повреждений, ассоциированных с грибом *Schizophyllum commune*, не выявляемых при визуальной оценке. Сделан вывод об эффективности поллардинга как практики для повышения долговечности и безопасности городских насаждений.

Ключевые слова: поллардинг, *Tilia cordata*, инструментальное обследование деревьев, ультразвуковая томография, Arbotom, жизненное состояние деревьев, городская среда.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 7–13

ANALYSIS OF THE IMPACT OF POLLARDING ON THE VITALITY OF *Tilia cordata* TREES IN AN URBAN ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF MOSCOW)

A. A. Lagutin, R. S. Khamitov, S. M. Khamitova, G. A. Vasilevskiy

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev
49, Timiryazevskay St., Moscow, 127434, Russian Federation
E-mail: alexlagutin@rgau-msha.ru

Abstract. The article presents a comparative study of the vital state of crowned (using the pollarding method) and non-crowned small-leaved linden trees (*Tilia cordata* Mill.) in the urban environment of Moscow. The comprehensive assessment included visual analysis using the V. A. Alekseev method and instrumental diagnostics using the Arbotom ultrasound tomograph to identify internal defects in the wood. The results demonstrate higher vitality and stability in the crowned specimens. A significant prevalence of hidden damage associated with the fungus *Schizophyllum commune*, which is not detected by visual assessment, has been established. The effectiveness of pollarding as a practice for improving the durability and safety of urban plantations has been concluded.

Keywords: pollarding, *Tilia cordata*, instrumental examination of trees, ultrasound tomography, Arbotom, vital condition of trees, urban environment.

ВВЕДЕНИЕ

Породы рода *Tilia* встречаются на территории всей Европы, Великобритании, Закавказье, Западной Сибири, Европейской части России, Восточной и Юго-Восточной Азии, Юг Дальнего Востока. В России естественно произрастает 16 видов и выведено 11 экзотов. Липы относятся к широколиственным породам с высокой морозо- и холодостойкостью, имеющие глубокое распространение на север.

В ландшафтной архитектуре липа имеет широкий спектр применения для озеленения городов, в частно-

сти в аллейных посадках, солитерах, а также в виде смешанных и чистых массивных насаждений в парках и лесопарках. Посадки лип производятся в утилитарном назначении вокруг полей и пастбищ. Наиболее используемыми видами в озеленении являются Липа мелколистная *Tilia cordata*, Липа крупнолистная *Tilia platyphyllos* и Липа европейская *Tilia × europaea*. Считается, что потепление климата европейской части России позитивно скажется на интродукции и других видов лип, и обеспечит наиболее благоприятные условия для их роста [9].

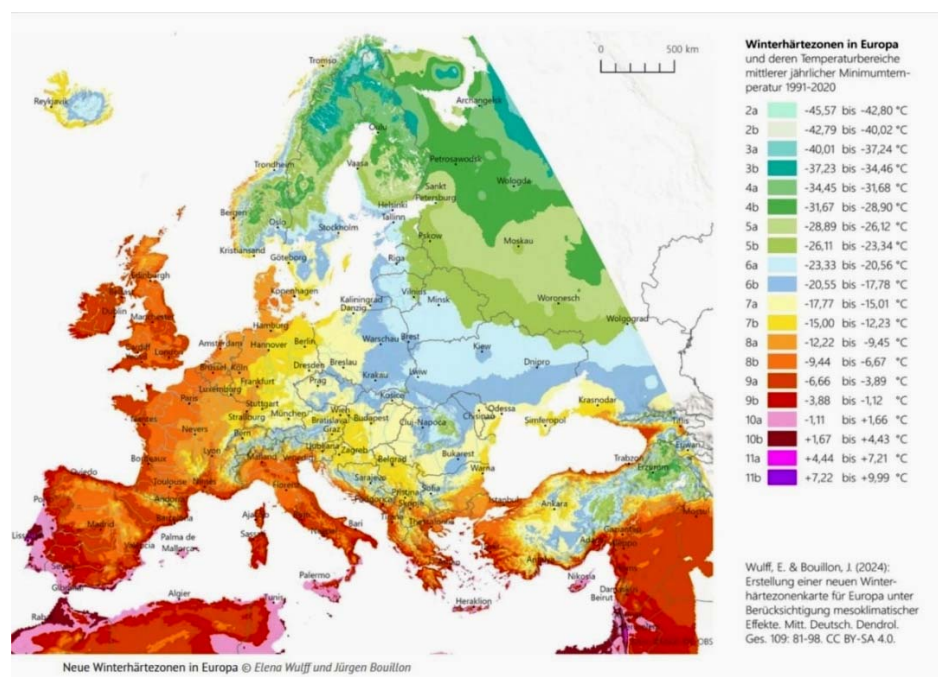


Рис. 1. Карта изменений зон морозостойкости (USDA) Европы [21]

Липа обладает комплексом ценных биологических и экологических свойств, что обуславливает её широкое применение в озеленении и лесном хозяйстве. Данная порода характеризуется высокой газо- и пылеустойчивостью, а также выраженной толерантностью к антропогенным воздействиям. Она демонстрирует исключительную способность к регенерации, сочетающуюся с быстрыми темпами роста и долговечностью (средняя продолжительность жизни составляет 120 лет, при этом известны экземпляры, достигшие 800-летнего возраста). Физиологическая пластичность вида проявляется в его адаптивности к различным почвенным условиям, включая засоленные и засушливые субстраты (соле- и засухоустойчивость) [1]. Важной экологической характеристикой вида является его неаллергенное цветение, которое, будучи ценным медоносным ресурсом, способствует повышению локального биоразнообразия. Кроме того, лиственный опад отличается повышенным содержанием кальция, что интенсифицирует процессы гумификации без образования грубого гумуса и приводит к естественному повышению почвенного плодородия. Таким образом, сочетание декоративных качеств, экологической устойчивости и положительного влияния на почвенные процессы определяет высокую ландшафтно-экологическую ценность липы в урбанизированных и природных экосистемах. Липа успешно переносит формовочную обрезку, что, наряду с теневыносливостью и способностью формировать плотную крону с значительным объёмом зелёной массы, делает её оптимальным выбором для создания шумозащитных барьеров и живых изгородей. Один из методов формовочной обрезки является поллардинг [5].

Поллардинг – традиционный европейский тип обрезки, изначально утилитарного назначения, созданный для упрощенного получения листьев на корм скоту и тонких побегов для плетения корзин, заборов, розжига печей. Также в жарких странах полларды

использовали для высадки на придомовых территориях для того, чтобы летом дерево не давало нагреваться слишком сильно дому, а зимой обратно – не затеняло солнце. Также обрезки применялись при нависании ветвей над водными каналами [18]. Но в настоящее время в европейских странах полларды остались культурными символами средневекового садового искусства, в то время как в современном мире этот метод кронирования полезен для ограничения роста кроны в стесненных условиях города, устранения вероятных грибных заболеваний, нейтрализации цветения, безопасности (возможно падение побегов), устранения затенения и оздоравливания дерева [8].

Археологические исследования обнаружили первые попытки создания поллардов еще в неолитический период [15]. Срезание листьев на корм скоту упоминается еще в Древне Римских источниках, а также вяз, орешник, боярышник и хвойные деревья срезались на корм по всей Центральной и Западной Европе. На сегодняшний день, данная техника для утилитарных назначений сохранилась в некоторых странах Южной Европы. На сегодняшний день поллардинги Англии и Норвегии включены в программы сохранения как часть исторического ландшафта [6].

В первую очередь полларды являлись частью многоплановой системы–пермакультуры. Система включала не только сбор древесины различных возрастных классов с помощью изменений ротаций обрезок, также создание лугов для выпаса скота, за счет повышенной освещенности нижнего яруса. Получение плодов, создание естественных жилищ для пчел – все это вело к повышению общего биоразнообразия, а сбор древесины без полного вырубания дерева и создание живых изгородей, позволял сохранять лесные массивы целыми [10].

Формирование полларда начинают на молодых растениях (6–10 лет), отбирая крепкие побеги с широкими углами отхождения. В период покоя (ранняя весна) удаляют все побеги, кроме 1–2 доминантных

(Saprisers), которые защищают ствол и подавляют рост конкурентов. С каждым годом обрезку проводят выше предыдущей, формируя утолщение – «голову полларда», богатую спящими почками. Новые вертикальные побеги регулярно срезают, а нижнюю поросль удаляют. Обрезку повторяют каждые 2–3 года, соблюдая региональные традиции сроков. [20].

Исследования исторических поллардов на территории европейских стран доказало, что кронированные деревья наиболее жизнеспособны, чем некронированные экземпляры [12].

Повышенная устойчивость поллардов обусловлена комплексом физиологических и механических пре-

имуществ, связанных с регулярной обрезкой кроны. Систематические интервальные обрезки стимулируют омоложение ростовых процессов, что позволяет отсрочить возникновение дисбаланса между потребностью дерева в воде и питательных веществах и возможностями корневой системы [7]. Уменьшение объема кроны снижает ее парусность, минимизируя риск механических повреждений ветвей под воздействием ветровой нагрузки или собственного веса. Кроме того, обрезка молодых побегов (возрастом до 2 лет) способствует снижению риска грибковых заболеваний за счет улучшения аэрации кроны и устранения потенциальных очагов инфекции.

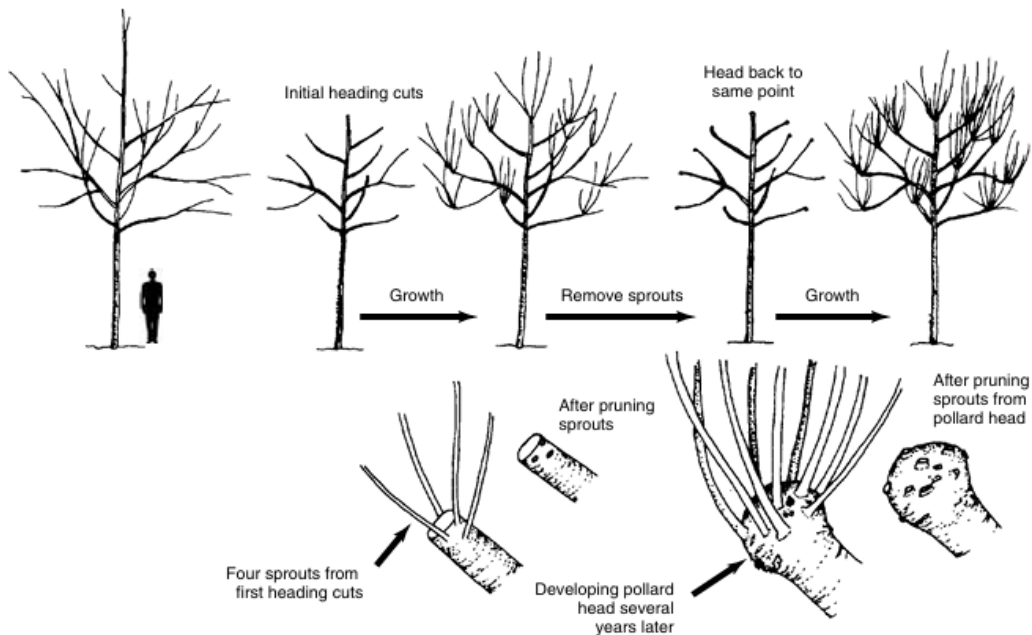


Рис. 2. Схема начального этапа формирования головы полларда [11]

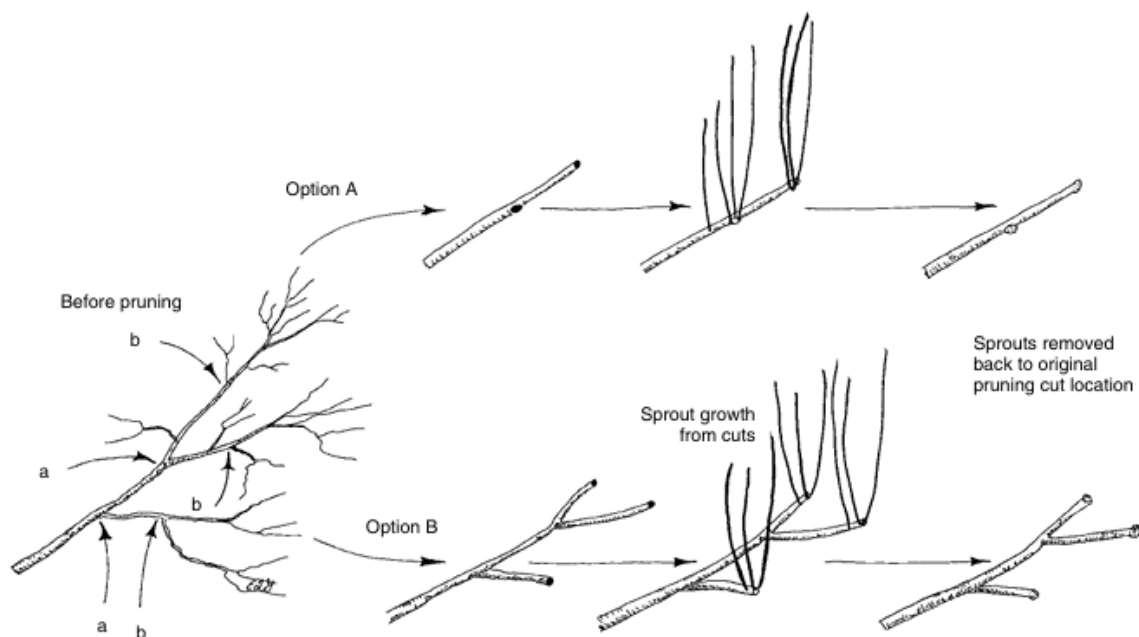


Рис. 3. Методы начального образования поллардинга:

А) сделано два среза – удаляющий и направляющий; В) срезы сделаны дальше чуть ниже соединения побегов. На некоторых деревьях в этом месте есть скопления спящих почек [11]

Важным следствием регулярной обрезки является усиленное развитие корневой системы, что повышает устойчивость дерева и улучшает его способность к поглощению воды и минеральных веществ. Таким образом, поллардная форма кроны обеспечивает долговечность дерева за счет оптимизации соотношения надземной и подземной частей и снижения воздействия стрессовых факторов [13]. При выборе древесных пород для поллардинга берутся с сильным эпикормовым ростом побегов [14]. Фактически поллардинг является средством омоложения дерева. При удалении большинства побегов, теряя большую часть зеленой массы, дерево переводит свою энергию на два вида деятельности: заживление срезов и производство новых листьев. Годичные кольца уменьшаются, потому что образование толстого слоя древесины вто-

ричный приоритет в сравнении с заживлением и листообразованием. По мере прогрессирования цикла поллардинга (промежутков обрезок), дерево перестает вкладывать большую часть энергии в листву, а перенаправляет ее на образование эмбриональных тканей (меристемы). При несоблюдении цикла поллардинга, деревья не успевают накопить энергию за вегетационный сезон, тем самым становятся неспособные выживать в долгосрочной перспективе [2]. Несмотря на все положительные качества обрезки важное значение имеет регулярный мониторинг жизненного состояния лип позволяющий выявлять ранние признаки деградации и своевременно принимать корректирующие меры. Особое значение имеет интеграция современных методов диагностики, таких как дендрометрия и импульсная томография повышающих точность оценки.



Рис. 4. «Голова» полларда, дерево с липовой аллеи ВДНХ (28.04.2025)



Рис. 5. Arbotom ABT06-S – трёхмерный томограф для анализа состояния древесины, Rinntech замеры от (06.06.2025)

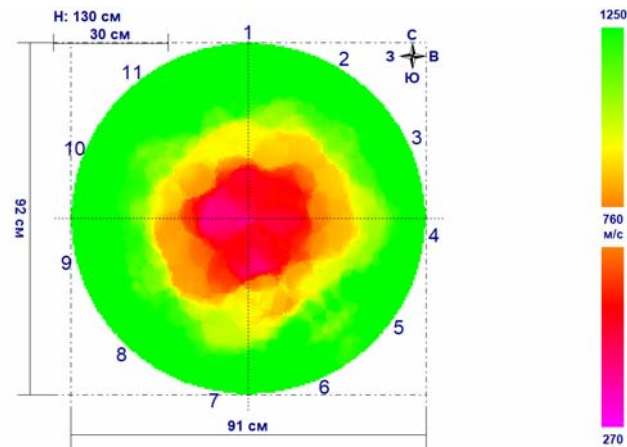


Рис. 6. Пример томограммы с импульсного томографа Arbotom

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Импульсный томограф применяется для оценки внутреннего состояния древостоя. Оценивается плотность древесины в поперечном сечении, а также возможная аварийность. При работе с прибором Arbotom используется ряд датчиков, являющиеся уловителями звуковых волн, посылаемыми другими датчиками сквозь древесину. Датчики закреплены специальными гвоздями по диаметру ствола.

При высоком качестве древесины, волна распространяется быстрее, чем через поврежденную. Полученная интерпретация, в виде цветной 2D-томограммы (рис. 6), помогает лучше понять степень внутреннего повреждения ствола. Фиолетовые и красные оттенки спектра указывают зоны распада и полости, зеленым спектром выделяется здоровая древесина.

Ультразвуковым томографом Arbotom был проведен анализ древесных насаждений и получен ряд томограмм, которые являются цветным графическим изображением «слайса» ствола дерева. Ультразвуковая томография наиболее эффективный инструмент для выявления внутреннего распада древесины и оценки расположения аномалий, их размеров, формы, устойчивости [3]. Томограмма имеет цветовую индикацию в спектре от фиолетового до зеленого [17]. Спектральная шкала и цветовая индикация томограммы указывает на скорость прохождения звуковой волны. Фиолетовые и красные оттенки указывают на повреждение древесины и потерю ее структуры, зеленые – здоровую и не поврежденную древесину.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний момент проведено обследование липовой аллеи на ВДНХ, было исследовано 52 ствола деревьев липы мелколистной (*Tilia cordata*), средний возраст которых 55–60 лет. Из этого количества 33 дерева оказались абсолютно здоровы, на остальных 19 томограммах обнаружены следы размягчения древесины, а также плодовые тела гриба *Schizophyllum commune*. При этом, по визуальной оценке, по методу В. А. Алексеева средний балл жизненного состояния составил 1,0, что в таком случае позволяло отнести обследуемые насаждения к категории здоровые. Средняя высота базальной части пол-

лардов на момент обследования составляла 7,0 метров.

Также изучены аллеи насаждений некронированных лип, вдоль Чонгарского бульвара и площади академика Вишневецкого, схожего возраста с липами ВДНХ. Из 17 исследованных лип девять подвержены существенному размягчению древесины. Средний балл, по визуальной оценке, по методу В. А. Алексеева оказался равен 1,0. Средняя высота насаждений 10,4 метра.



Рис. 7. Плодовые тела *Schizophyllum commune* на кронированных липах ВДНХ (28.04.2025)

Обследование кронированных и некронированных деревьев липы мелколистной в зеленых насаждениях на территории РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева продемонстрировало, что из трех просканированных кронированных лип, здоровы две, а некронированных – пять из 15. Средняя высота насаждений 10,2 метра. Средний балл, по визуальной оценке, по методу В. А. Алексеева равен 2,0.

В России феномен кронирования, а тем более поллардинга, мало изучен, но существуют данные о положительных аспектах кронирования лип – увеличение вегетационного периода на 1,5–1,8 месяца, повышение газоустойчивости, отсутствие краевого некроза листьев, повышение жизнеспособности, увеличение размеров почек, отсутствие морфологических изменений в зависимости от загрязнения атмосферы [2].

Кронированные липы

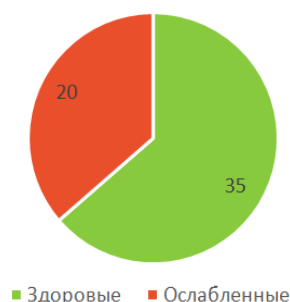


Рис. 7. Соотношение здоровых и ослабленных кронированных лип

Некронированные



Рис. 8. Соотношение здоровых и ослабленных некронированных лип

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты инструментального и визуального анализа насаждений рода липы сердцелистной указывают на то, что в городе Москве – кронированные липы имеют большую жизнеспособность в сравнении с некронированными. Также можно заметить подверженность лип грибу *Schizophyllum sp. aff. commune*, замеченный на большинстве ослабленных лип и являющийся возбудителем белой гнили. Исследования продолжаются и при получении более широкой выборки, можно составить более точную корреляцию.

Выражаем особую благодарность за помощь в организации исследований главному дендрологу Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ) Самсоненко Лолле Климовне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ярмолович В. А., Середич М. О., Звягинцев В. Б., Арнольбик В. М. Фитопатологическое состояние ясеневых, кленовых и липовых насаждений в национальном парке «Беловежская пуща» // Вестник ПГТУ. 2018. № 4 (40). С. 64–74.
2. Головинская Т. Я. Особенности экологии липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) примагистральных зон городской среды: На примере Центрального района города Воронежа : дис. ... канд. охр. окр. среды наук : 11.00.11. Воронеж, 2000. 189 с.
3. Мельничук И. А., ЙассинСолиман Й. М., Черданцева О. А. Диагностика внутреннего состояния

деревьев *Tilia cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии Arbotom® // Вестник РУДН. 2012.

4. Mitchell A. F., Dahlstrom P., Sunesen E., Darter C. A field guide to the trees of Britain and northern Europe. London : Collins, 1974.

5. Arbres et Paysages 32. Trognes, le livret des arbres têtards. 2010. 24 p.

6. Basque pollards // City Matters London : [сайт]. URL: <https://www.citymatters.london/guardian-of-capitals-fantastic-urban-woodland-wins-award-for-35-years-of-service/basque-pollard/> (дата обращения: 13.05.2025).

7. Brickell C., Joyce D. Pruning & Training. United States : DK Publishing, 2017. 336 p.

8. Watkins C. Pollarding Trees: Changing Attitudes to a Traditional Land Management Practice in Britain 1600-1900 // Rural History. United Kingdom : Cambridge University Press, 2003. P. 157–176.

9. De Decker K. How to Make Biomass Energy Sustainable Again // Low-Tech Magazine. (дата обращения: 27.04.2021).

10. Eaton E., Caudullo G., de Rigo D. *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos* and other limes in Europe: distribution, habitat, usage and threats // European Atlas of Forest Tree Species / J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri (Eds.). Luxembourg : Publ. Off. EU, 2016.

11. Gilman E. F. An Illustrated Guide to Pruning. 2nd ed. Delmar : Thomson Learning, 2002. 330 p.

12. Read H. J. A study of practical pollarding techniques in northern Europe. England : Report of a three month study tour August to November, 2003.

13. Autant N. Les arbres têtards de Matheysine: Comment lier sauvegarde du patrimoine et valorisation économique. Toulouse : Université Toulouse Jean Jaures, 2021. 68 p.

14. Pollarding // Wikipedia : [сайт]. URL: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Pollarding> (дата обращения: 10.02.2025).

15. Rasmussen P. Pollarding of Trees in the Neolithic: Often Presumed – Difficult to Prove // Experimental Reconstruction in European Archaeology / D. E. Robinson (ed.). Roskilde, Denmark, 1990. P. 77–98.

16. Read H. Veteran Trees: A guide to good management. Peterborough : English Nature, 2000. 176 p.

17. Resistograph // RINNTECH : [сайт]. URL: <https://www.rinntech.com/content/view/8/34/lang,english/index.html> (дата обращения: 05.10.2024).

18. Slotte H. Harvesting of leaf-hay shaped the Swedish landscape // Landscape Ecology. 2001. Vol. 16. P. 691–702.

19. Szabó P. Medieval Trees and modern ecology: How to handle written sources // Mediumaeum Quotidianum. Krems, 2002. Vol. 46. P. 7–25.

20. Why we use Coppicing and Pollarding in Permaculture // Midwest Permaculture : [сайт]. URL: <https://midwestpermaculture.com/coppicingpollarding/> (дата обращения: 28.05.2025).

21. Wulff E., Bouillon J. Neue Winterhärtezonen für Europa unter Berücksichtigung mesoklimatischer Effekte // Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. 2024. Bd. 109. S. 81–98.

REFERENCES

1. Yarmolovich V. A., Seredich M. O., Zvyagincev V. B., Arnol'bik V. M. Fitopatologicheskoe sostoyanie yase-nevy`x, klenovy`x i lipovy`x nasazhdenij v nacional'nom parke «Belovezhskaya pushha» // Vestnik PGTU. 2018. № 4 (40). S. 64–74.
2. Golovinskaya T. Ya. Osobennosti e`kologii lipy` melkolistnoj (*Tilia cordata* Mill.) primagistral'ny`x zon gorodskoj sredy`: Na primere Central'nogo rajona goroda Voronezha : dis. ... kand. ohr. okr. sredy` nauk : 11.00.11. Voronezh, 2000. 189 s.
3. Mel'nichuk I. A., JassinSoliman J. M., Cherdanceva O. A. Diagnostika vnutrennego sostoyaniya derev`ev *Tilia cordata* Mill. s ispol'zovaniem kompleksa apparatury` akusticheskoy ul'trazvukovoj tomografii Arbotom® // Vestnik RUDN. 2012.
4. Mitchell A. F., Dahlstrom P., Sunesen E., Darter C. A field guide to the trees of Britain and northern Europe. London : Collins, 1974.
5. Arbres et Paysages 32. Trognes, le livret des arbres têtards. 2010. 24 p.
6. Basque pollards // City Matters London : [sait]. URL: <https://www.citymatters.london/guardian-of-capitals-fantastic-urban-woodland-wins-award-for-35-years-of-service/basque-pollard/> (data obrashheniya: 13.05.2025).
7. Brickell C., Joyce D. Pruning & Training. United States : DK Publishing, 2017. 336 p.
8. Watkins C. Pollarding Trees: Changing Attitudes to a Traditional Land Management Practice in Britain 1600-1900 // Rural History. United Kingdom : Cambridge University Press, 2003. P. 157–176.
9. De Decker K. How to Make Biomass Energy Sustainable Again // Low-Tech Magazine. (data obrashheniya: 27.04.2021).
10. Eaton E., Caudullo G., de Rigo D. *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos* and other limes in Europe: distribution, habitat, usage and threats // European Atlas of Forest Tree Species / J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri (Eds.). Luxembourg : Publ. Off. EU, 2016.
11. Gilman E. F. An Illustrated Guide to Pruning. 2nd ed. Delmar : Thomson Learning, 2002. 330 p.
12. Read H. J. A study of practical pollarding techniques in northern Europe. England : Report of a three month study tour August to November, 2003.
13. Autant N. Les arbres têtards de Matheysine: Comment lier sauvegarde du patrimoine et valorisation économique. Toulouse : Université Toulouse Jean Jaures, 2021. 68 p.
14. Pollarding // Wikipedia : [sait]. URL: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Pollarding> (data obrashheniya: 10.02.2025).
15. Rasmussen P. Pollarding of Trees in the Neolithic: Often Presumed – Difficult to Prove // Experimental Reconstruction in European Archaeology / D. E. Robinson (ed.). Roskilde, Denmark, 1990. P. 77–98.
16. Read H. Veteran Trees: A guide to good management. Peterborough : English Nature, 2000. 176 p.
17. Resistograph // RINNTECH : [sait]. URL: <https://www.rinntech.com/content/view/8/34/lang,english/index.html> (data obrashheniya: 05.10.2024).
18. Slotte H. Harvesting of leaf-hay shaped the Swedish landscape // Landscape Ecology. 2001. Vol. 16. P. 691–702.
19. Szabó P. Medieval Trees and modern ecology: How to handle written sources // Mediaevalum Quotidianum. Krems, 2002. Vol. 46. P. 7–25.
20. Why we use Coppicing and Pollarding in Permaculture // Midwest Permaculture : [sait]. URL: <https://midwestpermaculture.com/coppicingpollarding/> (data obrashheniya: 28.05.2025).
21. Wulff E., Bouillon J. Neue Winterhärtezonen für Europa unter Berücksichtigung mesoklimatischer Effekte // Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. 2024. Bd. 109. S. 81–98.

© Лагутин А. А., Хамитов Р. С.,
Хамитова С. М., Василевский Г. А., 2026

Поступила в редакцию 10.10.2025

Принята к печати 20.02.2026

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗРЕЖИВАНИЯ ОДНОВОЗРАСТНЫХ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ

Н. В. Выводцев

Тихоокеанский государственный университет
Российская Федерация, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136
Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства
Российская Федерация, 680020, Хабаровск, ул. Волочаевская, 71
E-mail: 004193@pnu.edu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены закономерности изреживания одновозрастных лиственничных древостоев, объединенных в хозяйственные группы типов леса. Многообразие видов изреживания сгруппировано в 12 типовых линий. Типовые линии описаны параболой 4-го порядка. Изучена связь типов изреживания с классами бонитета, типами роста высоты, диаметра, видового числа. Со всеми анализируемыми показателями связь умеренная, достоверная. Исключением является отсутствие связи между типами изреживания и классами густоты древостоев. Одинаковую густоту в 100 лет могут иметь древостои разных типов изреживания. Использование типов изреживания для построения таблиц хода роста – малоизученное направление. Во-первых, отсутствует методика построения подобных нормативов, во-вторых, для построения таблиц хода роста обычно используют пробные площади, но не таблицы хода роста. Таблицы хода роста сгруппированы в 9, 8 и 7 типах изреживания. Абсолютные значения средних высот и диаметров взяты из общих таблиц хода роста. Число стволов в базовом возрасте найдено через регрессионную связь класса бонитета и числа стволов. В других возрастах число стволов находили путем перемножения индексов типовых линий на базовую величину. Сумма площадей сечений, средний и текущий приросты определены по общеизвестным формулам и соотношениям. Запас разработанных таблиц хода роста незначительно отклоняется от запаса нормальных древостоев лиственницы. Предлагаемый метод построения таблиц хода роста через типы изреживания позволяет более обоснованно назначать хозяйственные мероприятия в лиственничниках.

Ключевые слова: класс бонитета, лиственничные насаждения, тип изреживания, тип и класс роста, продуктивность древостоев.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 14–20

REGULARITIES OF THINNING OF EVEN-AGED LARCH FORESTS

N. V. Vyvadtsev

Pacific State University
136, Tikhookeanskaya str., Khabarovsk, 680035, Russian Federation
Far Eastern Research Institute of Forestry
71, Volochaevskaya str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
E-mail: 004193@togudv.ru

Abstract. The article discusses the regularities of thinning of even-aged larch stands, which are grouped into economic forest types. The diversity of thinning types is grouped into 12 typical lines. The typical lines are described by a 4th-order parabola. The relationship between thinning types and the classes of bonitet, types of height, diameter, and species number is studied. The relationship is moderate and reliable for all the analyzed indicators. An exception is the lack of a relationship between thinning types and density classes of tree stands. Tree stands of different thinning types can have the same density at 100 years of age. The use of thinning types for constructing growth tables is a poorly studied area. Firstly, there is no methodology for constructing such standards, and secondly, growth tables are usually constructed using trial plots rather than growth tables. The growth tables are grouped into 9, 8, and 7 thinning types. The absolute values of average heights and diameters are taken from the general growth tables. The number of trunks at the base age is determined using a regression relationship between the class of bonitet and the number of trunks. In other ages, the number of trunks was found by multiplying the indices of the standard lines by the base value. The sum of the cross-sectional areas, the average and current growth rates, were determined using well-known formulas and ratios. The reserve of the developed growth tables differs slightly from the reserve of normal larch stands. The proposed method of constructing growth tables based on thinning types allows for more reasonable management decisions in larch forests.

Keywords: bonitet class, larch plantations, thinning type, growth type and class, productivity of tree stands.

ВВЕДЕНИЕ

Лиственница – одна из наиболее распространенных древесных пород на Дальнем Востоке. Это в какой то мере обусловило чрезмерное типологическое дробление лиственничной формации. В 80-х годах прошлого столетия, исходя из хозяйственной целесообразности, их интегрировали по лесорастительным областям (Магаданская и Чукотский АО, Среднеамурская, Амуро-Сихотэ-Алиньская, Приморско-Уссурийская, Хасан-Ханкайская), выделив горные и равнинные лиственничники [1].

Хозяйственные группы типов леса (ХГТЛ) – это совокупность типов леса, природные характеристики которых требуют применения одних и тех же лесохозяйственных мероприятий при определенном уровне ведения лесного хозяйства [1]. Каждая из ХГТЛ содержит характеристики, касающиеся местоположения, характера увлажнения, особенностей почвообразования, состава насаждения, таксационных параметров спелых древостоев, состава подроста, подлеска и т. д.

Несомненно, образование укрупненных хозяйственных групп типов леса в лиственничниках, кедровниках, ельниках и др. оказало положительное влияние на разработку концепций, методов, совершенствование нормативной базы по этим древесным породам [2–10]. Единственный недостаток построенной схемы ХГТЛ – отсутствие динамических рядов таксационных показателей или таблиц хода роста. Представить ХГТЛ в виде динамических рядов стало возможным благодаря разработанной системе типовых шкал роста и построенному на их основе методу построения таблиц хода роста [5]. Под типом роста понимается объединенная группа насаждений, имеющая одинаковый тип (характер) роста таксационного показателя на достаточно длительном отрезке времени (10–220 лет). Близкие значения таксационного показателя еще не говорят о том, что абсолютные значения других таксационных показателей совпадут. У них свой характер роста, на который может оказать влияние тип изреживания. Тип изреживания – это ряд индексов полученных путем деления абсолютных значений таксационного признака (высота, диаметр, число стволов и т. д.) в любом возрасте на абсолютное значение в базовом 100-летнем возрасте. Полученные таким образом индексные ряды таксационных показателей усреднялись, выравнивались, описывались аналитически и принимались за типы роста. Их количество по таксационным показателям варьировало от 7 до 12 типов роста [7].

Четкой зависимости между типами роста и географическими или лесорастительными районами не установлено. К одному типу роста могут относиться древостои произрастающие в разных географических районах. Древостои, имеющие одинаковые порядковые номера типов и классов роста (абсолютные значения признака в 100 лет) существенно не различаются по абсолютным значениям признаков на всем возрастном интервале. Таких однородных групп, независимо от географического района, по лиственничникам образовано от 14 до 46 (в зависимости от таксационного показателя и количества таблиц хода роста).

Создание системы типовых шкал роста позволило разработать новые нормативные материалы, учитывающие особенности роста древостоев этой формации: общие таблицы хода роста нормальных насаждений (полнота 1,0), стандартную таблицу сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0, таблицу видовых высот, бонитировочную шкалу, уточнить возраста спелости лиственничников [11].

В настоящей работе рассмотрен метод построения таблиц хода роста для хозяйственных групп типов леса, используя разработанные ранее методические рекомендации [5]. При построении таблиц хода роста в качестве классификационной основы обычно берут класс бонитета, или тип леса. Подбор древостоев одного ряда развития осуществляют по регрессионным связям типа: $АН = a + bA$. В разработанном методе подбор естественного ряда не производится. Методика построения базируется на использовании типов изреживания. Известно влияние числа стволов на оптимальную продуктивность древостоев [12; 13]. Это единственный не виртуальный таксационный показатель, который непосредственно оказывает влияние на рост всех остальных.

В таблицах хода роста число стволов на одном га в большинстве случаев находят расчетным путем через сумму площадей сечений. В настоящей статье тип изреживания в формулах регрессий принят за независимую переменную с помощью которой находили связь с классами бонитета. Изреживание древостоев по существу является единственным показателем, который определяет жизненный цикл древостоя, а также влияет на рост других таксационных показателей после проведения рубок ухода, выборочных рубок, частичного усыхания после беглого низового пожара. Для проверки этой гипотезы были изучены взаимосвязи таксационных показателей с типами изреживания. На основе выявленных регрессий построены таблицы хода роста, где независимой переменной, кроме класса бонитета принят тип изреживания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общая картина изменения численности стволов с возрастом в лиственничной формации представлена 12 типами сохранности, или изреживания (табл. 1). Тип изреживания характеризует в индексах сохранность деревьев в насаждении в интервале 20–220 лет, или отпад. Класс роста – это абсолютное значение числа стволов в 100-летнем возрасте. Его вводят для перехода от индексов изреживания к абсолютным значениям. В первом классе роста количество стволов на 1 га максимальное – 1744 шт., в семнадцатом минимальное – 384 шт. Диапазон варьирования количества стволов в 100-летнем возрасте установлен по таблицам хода роста. Индексы изреживания лиственничников представлены в табличном (табл. 1) и аналитическом виде (табл. 2).

Параметры параболы подчиняются определенной закономерности, которую можно описать линейной регрессией, построив одно уравнение для 12 типов изреживания. Входом в регрессию будут возраст и порядковые номера типов изреживания.

Таблица 1

Типы сохраннысти (изреживания) числа стволов с возрастом в лиственничной формации

Воз- раст, лет	Индексы по типам роста (0,000)											
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й
20	9141	8551	7961	7370	6780	6190	5599	5009	4320	3730	3140	2549
30	7217	6760	6303	5846	5390	4933	4476	4019	3486	3029	2572	2116
40	5602	5259	4915	4572	4228	3885	3541	3198	2797	2453	2110	1766
50	4271	4022	3774	3524	3276	3027	2779	2530	2240	1999	1742	1494
60	3193	3022	2851	2680	2509	2338	2167	1996	1797	1626	1455	1284
70	2342	2234	2126	2018	1910	1801	1693	1586	1459	1351	1243	1135
80	1692	1633	1575	1516	1457	1398	1340	1251	1212	1154	1095	1035
90	1306	1279	1253	1226	1199	1172	1145	1119	1092	1065	1039	1012
100	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1,000	1000	1000
110	783	802	821	840	859	878	897	916	935	954	973	992
120	599	634	669	704	739	774	809	844	879	914	949	985
130	480	526	572	617	663	708	754	800	845	891	936	982
140	397	448	499	550	601	652	703	754	805	874	921	975
150	290	350	410	470	530	590	650	710	780	840	900	960
160	249	312	375	437	500	563	625	688	752	822	879	940
170	207	272	338	404	470	535	601	667	732	798	864	930
180	177	243	310	376	443	509	576	642	709	776	842	909
190	159	224	289	355	421	486	552	617	683	748	814	879
200	136	201	265	329	394	458	523	587	652	716	781	845
210	117	180	243	306	369	432	495	558	621	684	747	810
220	103	163	223	284	345	405	466	526	587	647	708	768

Таблица 2

Значения параметров уравнения параболы 4-го порядка

Типы изреживания	Параметры параболы 4-го порядка			
	a_1	a_2	a_3	a_4
	По числу стволов			
1	-2,8209	4,7536	-4,3819	1,5608
2	-2,0059	4,3799	-5,0263	1,8672
3	-1,9475	3,8923	-5,1926	2,4258
4	-2,1088	3,6873	-3,5655	1,2952
5	-1,6411	3,3541	-3,6457	1,3290
6	-1,4325	2,9951	-3,3304	1,2263
7	-1,3972	2,6224	-2,7480	1,0283
8	-1,0922	2,2407	-2,5939	1,0156
9	-0,8919	1,8396	-2,1540	0,8424
10	-0,6502	1,4893	-1,8878	0,7516
11	-0,4124	1,1297	-1,6171	0,6677
12	-0,1744	0,7745	-1,3459	0,5792

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тип роста в высоту (T_h) обусловлен классами бонитета (Б). Характер связи передается уравнением параболы 3 порядка с высоким корреляционным отношением ($\eta = 0,62 \pm 0,113$):

$$T_h = 1,7 + 1,0Б - 0,22Б^2 + 0,0203Б^3. \quad (1)$$

Вероятностные значения типов роста в высоту, рассчитанные по уравнению (1), положены в основу бонитировочной шкалы, общих таблиц хода роста нормальных лиственничных насаждений [11].

Вероятностные значения типов роста по диаметру (T_d) рассчитаны по уравнению множественной регрессии, независимыми переменными которого являются класс бонитета и тип роста в высоту. Тип роста по диаметру также зависит от классов бонитета и ти-

пов роста в высоту. Связь передается множественной регрессией с высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,76$):

$$T_d = 2,73 + 0,04Б + 0,98T_h. \quad (2)$$

На формационном уровне картина изреживания представлена 12 типовыми линиями изреживания (табл. 1). Типовые линии построены по данным таблиц хода роста лиственничников [2; 4]. Тип изреживания древостоев лиственницы обусловлен классом бонитета ($\eta = 0,59 \pm 0,112$). Установленная закономерность аппроксимируется уравнением параболы 2 порядка:

$$T_N = 10,7 - 0,71Б + 0,016Б^2. \quad (3)$$

Рассчитанные по уравнению (3) вероятностные значения типов изреживания следующие:

Класс бонитета	I ^a	I	II	III	IV	V	V ^a
Тип изреживания							
числа стволов	10,0	9,3	8,7	8,1	7,5	7,0	6,5

При построении таблиц хода роста типы изреживания по классам бонитета приняты за целые значения: первый класс бонитета изреживается по девятому типу, третий – по восьмому, а пятый – по седьмому.

Регрессионный анализ типов изреживания и классов густоты выявил интересную закономерность. Между ними связь не достоверная, т. е. одинаковой густоты к 100-летнему возрасту древостои могут достигнуть при любом характере изреживания и при любой начальной густоте. Здесь налицо проявление принципа эквивалентности Л. Бергаланфи (1950) – система может достигать одного итого же конечного состояния при различных начальных условиях [14]. Для одновозрастных насаждений, где часто трудно сосчитать первоначальное количество молодых растений это является характерным.

Отсутствие связи между этими показателями может говорить о замедлении структурной перестройки внутри насаждения, или вступления насаждения в завершающий цикл роста. Но в любом случае отсутствие связи говорит о значительном варьировании густоты насаждений в 100-летнем возрасте.

В тоже время в 100-летнем возрасте число стволов лиственницы коррелирует с классами бонитета. Связь между этими показателями значительная ($\eta = 0,64 \pm 0,073$). Ее можно передать линейным уравнением:

$$N_{100} = 273 + 135B, \quad (4)$$

где N_{100} – число стволов в 100-летнем возрасте.

Для повышения уровня определенности регрессии класс бонитета заменили средней высотой в 100 лет, а в качестве независимой переменной дополнительно использовали отношение $d:h$. В результате мера определенности числа стволов в базовом возрасте существенно повысилась ($R^2 = 0,81$). Расчетный критерий Стьюдента для высоты составил 9,3, для отношения $d:h$ – 8,0. Зависимость между исследуемыми показателями передается уравнением множественной регрессии:

$$N_{100} = 3,0 - 0,039h_{100} - 1,061 d:h_{100}, \quad (5)$$

где N_{100} – число стволов в 100-летнем возрасте, уменьшенное в 1000 раз. Погрешность уравнения – 9,3 %. Ограничения: $12 \leq h_{100} \leq 33$; $0,8 \leq d:h \leq 1,3$.

Из уравнения (5) следует, что с уменьшением высоты в 100-летнем возрасте (ухудшение класса бонитета), при постоянном $d:h$, число стволов на 1 га увеличивается. При одинаковой средней высоте относительный сбег будет больше в редких, чем в густых насаждениях, т. е. густые насаждения имеют меньший средний диаметр в сравнении с редкими.

Естественное изреживание древостоя создает благоприятные условия оставшимся деревьям, наращивая за счет прироста таксационные показатели – диаметр, высоту, крону. В лиственничниках общая картина изреживания передается 12 типами. Диапазон варьирования крайних типов не превышает 66 %. При этом

в 100-летнем, базовом возрасте тип изреживания для всех насаждений одинаковый. Индекс любого типа изреживания в этом возрасте равен 1, или 1000.

В 100-летнем возрасте средний диаметр древостоев находится в тесной зависимости от средней высоты ($t = 8,9$) и отношения $d:h$ ($t = 7,8$). Зависимость передается уравнением множественной регрессии:

$$d_{100} = 24,62 + 1,195h_{100} + 20,810 d:h. \quad (6)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,89$. Стандартная ошибка 3,7 %. Ограничения: $12 \leq h_{100} \leq 33$; $0,8 \leq d:h \leq 1,3$.

Тип изреживания лиственничных насаждений находится в умеренной связи с типами и классами роста по диаметру, а также с классами бонитета. Связь передается уравнением множественной регрессии:

$$T_d = 10,4 - 0,51T_N - 0,64B + 0,5K_d. \quad (7)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,56$. Ошибка уравнения 14,3 %. Все независимые переменные значимы на 5%-ном уровне. Критерий Стьюдента соответственно равен: 6,2; 2,5; 2,7. То, что тип изреживания связан с типом и классом роста по диаметру указывает на наличие общей закономерности, проявляющейся (существующей) в других соотношениях между этими показателями (постоянная изреживания). Это можно проследить на постоянной изреживания [15].

Совместное влияние типов густоты и классов бонитета на 70 % объясняют характер изменения высоты с возрастом. Критерий Стьюдента для типов густоты равен 3,8, для класса бонитета – 6,4. Зависимость передается логарифмическим уравнением:

$$\ln T_h = 0,011 + 0,218 \ln T_N + 0,550 \ln B. \quad (8)$$

Погрешность уравнения 7,2 %.

Таким образом, в динамике тип изреживания связан с классами бонитета, типами роста в высоту и типами роста по диаметру, т. е. в границах класса бонитета он влияет на два основных таксационных показателя: высоту и диаметр.

По данным анализируемого материала полндревесность насаждений (тип роста по видовому числу) не зависит от типа изреживания. На этом уровне анализа связь между ними недостоверная. Включение высоты в регрессионный анализ видовых чисел выявил интересные закономерности в течение жизненного цикла насаждений.

Связь густоты насаждений на видовую высоту исследовали в трех возрастах: 50, 100, 150 лет. За независимые переменные принимались высота, диаметр, число стволов, сумма площадей сечений.

В 50-летнем возрасте достоверная на 5%-ном уровне значимости установлена связь лишь со средней высотой ($t = 3,7$). Связь с другими таксационными показателями видовой высотой не доказана. Конкретный вид уравнения связи видовой высоты и высоты в этом возрасте следующий:

$$\begin{aligned} hf_{50} &= 1,50 + 0,422h_{50}, \\ \text{при } 10 \text{ м} - \\ hf_{50} &= 5,72, \end{aligned} \quad (10)$$

где hf_{50} – видовая высота в 50-летнем возрасте; h_{50} – средняя высота в 50-летнем возрасте, м. Коэффициент детерминации 0,66. Ошибка уравнения 10,7 %. Ограничения: $7 \leq h \leq 24$.

Другая картина наблюдается в 100-летнем возрасте. Здесь тесная, устойчивая связь установлена с двумя независимыми переменными: высотой ($t = 7,6$) и числом стволов ($t = 2,7$). Связь суммы площадей сечений и диаметра с видовой высотой не достоверна. Зависимость видовой высоты от высоты и числа стволов передается уравнением множественной регрессии:

$$hf_{100} = -0,90 + 0,462h_{100} + 1,254N, \quad (11)$$

где hf_{100} – видовая высота в 100-летнем возрасте; N – число стволов, шт., уменьшенное в 100 раз. Коэффициент детерминации 0,94. Погрешность уравнения 5,4 %. Ограничения: $12 \leq h_{100} \leq 33$; $410 \leq N \leq 2550$. В 100-летнем возрасте число стволов оказывает влияние на полндревесность стволов. К этому возрасту формирование полндревесности насаждения в основном завершилось и зависит от числа стволов на гектаре.

В 150-летнем возрасте установлена значительная связь видовой высоты со средней высотой ($t = 7,8$) и со средним диаметром ($t = 3,2$), которая передается уравнением:

$$hf_{150} = 1,51 + 0,684h_{150} - 0,248d_{150}, \quad (12)$$

где hf_{150} – видовая высота в возрасте 150 лет; h_{150} – средняя высота в 150 лет, м; d_{150} – диаметр в 150-летнем возрасте, см. Коэффициент детерминации 0,94. Ошибка уравнения 4,7 %. Ограничения: $14 \leq h_{150} \leq 34$; $21 \leq d_{150} \leq 40$.

С густотой связь видовой высоты недостоверная ($t = 0,4$). Это можно объяснить стабилизацией изреживания древостоев к этому возрасту в лиственничниках и переходом их в климаксовое состояние.

На основе полученных уравнений регрессии проведено моделирование хода роста таксационных показателей с разными типами изреживания и разной базовой густой. Разработанные таблицы хода роста приведены в табл. 3.

Таблица 3
Ход роста лиственничников I, III, V классов бонитета

A	N	H	D	HF	G	Mn	Мо. тхр	Дср.	% откл.
I класс бонитета									
20	2346	9,1	7,7	6,0	10,9	66	127	3,3	+48
40	1519	17,2	15,1	8,7	27,2	236	298	5,9	+21
60	976	22,7	21,3	10,6	34,8	368	441	6,1	+16
80	658	26,3	26,3	11,8	35,7	422	540	5,3	+22
100	543	28,8	30,3	12,6	39,1	493	606	4,9	+19
120	477	30,7	33,5	13,3	42,0	559	642	4,7	+13
140	437	32,2	36,1	13,8	44,7	617	664	4,4	+7
160	408	33,3	38,1	14,2	46,5	660	678	4,1	+3
180	385	34,4	39,8	14,5	47,9	694	685	3,9	-1
200	354	35,1	41,5	14,8	47,9	708	689	3,5	-3
220	319	35,7	42,9	15,0	46,1	691	691	3,1	0
									+13
III класс бонитета									
20	4087	6,2	5,6	5,0	10,1	50	67	2,5	+25
40	2609	12,0	11,2	6,9	25,7	177	166	4,4	-6
60	1629	16,2	16,0	8,4	32,7	275	251	4,6	-9
80	1020	19,0	20,0	9,3	32,0	298	313	3,7	+5
100	813	21,2	23,3	10,0	34,8	348	364	3,5	+4
120	689	22,8	26,0	10,6	36,5	388	398	3,2	+2
140	615	24,1	28,2	11,0	38,4	422	422	3,0	0
160	561	25,0	30,0	11,4	39,6	452	438	2,8	-3
180	524	25,9	31,4	11,7	40,6	474	451	2,6	-5
200	479	26,5	32,7	11,9	40,2	478	458	2,4	-4
220	429	27,0	33,8	12,0	38,5	462	464	2,1	0
									+1
V класс бонитета									
20	6064	3,4	3,7	4,0	6,5	26	24	1,3	-8
40	3834	6,9	7,5	5,2	16,9	88	66	2,2	-25
60	2339	9,7	10,8	6,2	21,4	133	105	2,2	-21
80	1451	11,8	13,6	6,9	21,1	145	139	1,8	-4
100	1083	13,4	16,0	7,4	21,8	161	170	1,6	+5
120	876	14,6	18,1	7,8	22,5	176	192	1,5	+8
140	761	15,6	19,8	8,2	23,4	192	210	1,4	+9
160	677	16,3	21,1	8,4	23,7	199	226	1,2	+12

Окончание табл. 3

A	N	H	D	HF	G	Mn	Mo. тхр	Дср.	% откл.
180	624	17,0	22,3	8,6	24,4	210	237	1,2	+11
200	566	17,4	23,2	8,8	23,9	211	243	1,0	+13
220	537	17,8	23,9	9,0	24,1	217	248	1,0	+12
									+1

*Примечания: А – возраст, лет; Н – высота ствола, м; D – средний диаметр древостоя, см; N – число стволов, шт.га⁻¹; G – сумма площадей сечения, м²·га⁻¹; HF – видовая высота; M_n – запас, м³·га⁻¹; M_{тхр} – запас из общих таблиц хода роста, м³·га⁻¹; Дср. – средний прирост, м³·га⁻¹·год⁻¹.

Разработанные таблицы хода роста по продуктивности практически не различаются с нормальными таблицами хода роста лиственницы в третьем и пятом классах бонитета [11]. В первом классе бонитета отклонение составило 12 %. Таким образом, предложенный метод построения таблиц хода роста через типы изреживания можно использовать при моделировании хода роста лиственничных насаждений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 80-х гг. прошлого столетия, оптимизируя нормативную базу лесообразовательных процессов, была поставлена цель – создание системы хозяйственных групп типов леса [1] и системы типовых шкал роста [11]. Поставленные цели были достигнуты. Имея набор множества таксационных показателей, разработанные системы были независимы друг от друга. На примере трех построенных таблиц хода роста показан механизм объединения этих двух систем. В качестве классификационной основы приняты класс бонитета и тип изреживания древостоев. В насаждениях лиственницы варьирование типов изреживания невысокое. В диапазоне классов бонитета I–V характер изреживания лиственничных одновозрастных насаждений передается тремя типами: 9, 8, 7. Связь между классами бонитета и типами изреживания умеренная, достоверная. Тип изреживания оказывает влияние на рост других таксационных показателей в течение всего жизненного цикла. Разработанные таблицы хода роста углубляют наши знания о лесообразовательных процессах в лиственничной формации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Хозяйственные группы типов леса и схемы систем лесохозяйственных мероприятий для южной части Дальнего Востока, включая зону БАМ: Нормативные материалы // Сост. К. П. Соловьев, А. С. Шейнгауз, Д. Ф. Ефремов и др. Хабаровск : Изд-во ДальНИИЛХ, 1981. 48 с.
2. Выводцев Н. В., Выводцева З. А., Лысун Е. Ю. Нормативные основы для ведения лесного хозяйства на севере Хабаровского края (концептуальный аспект). Хабаровск : Изд-во «Этнос-ДВ», 1996. 67 с.
3. Прогнозирование продуктивности лиственничников на Дальнем Востоке / Н. В. Выводцев, З. А. Выводцева, Е. Ю. Лысун, Е. В. Лысун. Хабаровск : Изд-во ДальНИИЛХ, 2000. 70 с.
4. Выводцев Н. В. Нормативная база для оценки продуктивности лиственничных насаждений : монография ; Тихоокеанский государственный университет. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2023. 110, [2] с.

5. Корякин И. Н., Выводцев Н. В., Выводцева З. А. Методические рекомендации по составлению таблиц хода роста лиственничных насаждений на основе типовых и стандартизованных рядов роста. Хабаровск, Изд-во ДальНИИЛХ, 1988. 44 с.

6. Выводцев Н. В., Чансуань Ли, Целиков Г. В. К вопросу построения нормативов по материалам государственной инвентаризации лесов на примере насаждений лиственницы даурской // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XXXVII, №. 5. С. 289–294.

7. Выводцев Н. В., Выводцева А. Н. Лиственничники Дальнего Востока. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. 201 с.

8. Выводцев Н. В., Выводцева А. Н., Кобаяси Р. Сосна кедровая корейская в Хабаровском крае и перспективы ее восстановления / Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. 2016. 206 с.

9. Выводцев Н. В. Общие закономерности роста насаждений сосны корейской // Лесохоз. информ. электрон. сетевой журн. 2020. №. 3. С. 81–88. Doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.07. URL: [http://lhi.vniil.ru/...](http://lhi.vniil.ru/)

10. Vyvodtsev N. V. Forest Resource Potential of Cedar in the Far East. IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. Vol. 670, Issue 1. 2021.

11. Общесоюзные нормативы для таксации лесов : справочник / сост. В. В. Загребов, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошкалева. М. : Колос, 1992. 495 с.

12. Удод В. Е. Определение оптимальной интенсивности рубок ухода в дубовых насаждениях // Лесное хозяйство. 1972. № 7. С. 15–17.

13. Савинов Е. П. К вопросу о густоте леса // Лесное хозяйство. 1978. № 5. С. 35–37.

14. Рабочая книга по прогнозированию. М., 1982. 430 с.

15. Выводцев Н. В. Особенности роста пихты цельнолистной на юге Приморского края // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. 2023. № 4 (73). С. 88–96. Doi: 10.34655/bgsha.2023.73.4.011. EDN: KRFDNU/

REFERENCES

1. Hozyajstvenny'e gruppy` tipov lesa i sxemy` sistem lesokhozyajstvenny`x meropriyatij dlya yuzhnoj chasti Dal'nego Vostoka, vklyuchaya zonu BAM: Normativny'e materialy` // Sost. K. P. Solov'ev, A. S. Shejngauz, D. F. Efremov i dr. Xabarovsk : Izd-vo Dal'NIILX. 1981. 48 s.
2. Vy`vodcev N. V., Vy`vodceva Z. A., Ly`sun E. Yu. Normativny'e osnovy` dlya vedeniya lesnogo khozyajstva

na severe Xabarovskogo kraja (konceptual'nyj aspekt) / Xabarovsk. Izd-vo «E'tnos-DV», 1996. 67 s.

3. Prognozirovanie produktivnosti listvennichnikov na Dal'nem Vostoke / N. V. Vy'vodcev, Z. A. Vy'vodceva, E. Yu. Ly'sun E. V. Ly'sun. Xabarovsk : Izd-vo Dal'NIILX, 2000. 70 s.

4. Vy'vodcev N. V. Normativnaya baza dlya ocenki produktivnosti listvennichny'x nasazhdenij : monografiya ; Tixookeanskij gosudarstvennyj universitet. Xabarovsk : Izd-vo TOGU, 2023. 110, [2] c.

5. Koryakin I. N., Vy'vodcev N. V., Vy'vodceva Z. A. Metodicheskie rekomendacii po sostavleniyu tablicz xoda rosta listvennichny'x nasazhdenij na osnove tipovy'x i standartizovanny'x ryadov rosta. Xabarovsk : Izd-vo Dal'NIILX, 1988. 44 s.

6. Vy'vodcev N. V., Chansuan' Li, Celikov G. V. K voprosu postroeniya normativov po materialam gosudarstvennoj inventarizacii lesov na primere nasazhdenij listvennicy daurskoj // Xvojny'e boreal'noj zony. 2022. T. XXXVII, No. 5. S. 289–294.

7. Vy'vodcev N. V., Vy'vodceva A. N. Listvennichniki Dal'nego Vostoka. Xabarovsk : Izd-vo Tixookean. gos. un-ta, 2013. 201 s.

8. Vy'vodcev N. V., Vy'vodceva A. N., Kobayasi R. Sosna kedrovaya korejskaya v Xabarovskom krae i perspektivy ee vosstanovleniya. Xabarovsk : Izd-vo Tixookean. gos. un-ta. 2016. 206 s.

9. Vy'vodcev N. V. Obshhie zakonomernosti rosta nasazhdenij sosny' korejskoj // Lesoxoz. inform. e'lektron. setevoy zhurn. 2020. No. 3. S. 81–88. Doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2020.3.07. URL: [http://lhi.vniilm.ru/...](http://lhi.vniilm.ru/)

10. Vyvodthsev N. V. Forest Resource Potential of Cedar in the Far East. IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. Vol. 670, Iss. 1. 2021.

11. Obshhesoyuzny'e normativy dlya taksacii lesov : spravochnik / sost. V. V. Zagreev, V. I. Suxix, A. Z. Shvidenko, N. N. Gusev, A. G. Moshkalev. M. : Kolos, 1992. 495 s.

12. Udod V. E. Opreделение optimal'noj intensivnosti rubok uxoda v dubovy'x nasazhdeniyax // Lesnoe xozyajstvo. 1972. No. 7. S. 15–17.

13. Savinov E. P. K voprosu o gustote lesa // Lesnoe xozyajstvo. 1978. No. 5. S. 35–37.

14. Rabochaya kniga po prognozirovaniyu. M., 1982. 430 s.

15. Vy'vodcev N. V. Osobennosti rosta pixty' cel'no-listnoj na yuge Primorskogo kraja // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii imeni V. R. Filippova. 2023. No. 4 (73). S. 88–96. Doi: 10.34655/bgsha.2023.73.4.011. EDN: KRFDNU/

© Выводцев Н. В., 2026

Поступила в редакцию 08.12.2025
Принята к печати 20.02.2026

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*Pinus sylvestris* L.) С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В ПИТОМНИКЕ И НА ЛЕСОКУЛЬТУРНОЙ ПЛОЩАДИ

Е. М. Рунова, А. В. Денисенко

Братский государственный университет
Российская Федерация, 665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40
E-mail: rector@brstu.ru

Аннотация. Исследования выполнены в лесном питомнике тепличного типа ООО «Леса Сибири», а также на лесокультурной площади, расположенной на территории Курбинского лесничества Ойбонтовского участкового лесничества Республики Бурятия. Для исследований было выбрано 200 штук сеянцев сосны с закрытой корневой системой, выращенных в теплице питомника «Леса Сибири». В питомнике были сделаны замеры в мае 2024 года перед высадкой на лесокультурную площадь. На лесокультурной площади также были проведены замеры сеянцев в июле и октябре 2024 года. Были определены биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной: диаметр корневой шейки, масса растения, длина корня, высота сеянца, температура почвы, кислотность почвы. Также для определения влияния климатических факторов на рост и развитие сеянцев в периоды вегетации, был проведен анализ хода температуры воздуха день-ночь, определено количество солнечных, пасмурных, облачных дней, а также количество осадков с мая по октябрь. Для всех экспериментальных данных определены основные статистические показатели (средние арифметические, ошибки среднего арифметического, стандартное отклонение, коэффициент вариации). Установлено, что около 2 % от выращенных и измеренных в теплице сеянцев не достигли требуемых стандартных размеров по толщине стволика и по высоте. После отслеживания размерных показателей сеянцев на лесокультурной площади средний диаметр в июле практически достиг требуемого стандартом размера 1,98 мм, а в октябре – размера 2,43 мм; высота увеличилась с 9,81 см в мае до 17,11 в октябре. Исследования показали, что при некоторых отклонениях от стандартных размеров посадочный материал к октябрю при весенней посадке лесных культур в условиях Республики Бурятия достигает размерных и качественных характеристик, обеспечивающих высокую приживаемость сосновых лесных культур.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* L., сеянцы, закрытая корневая система, лесной питомник, лесовосстановление, лесокультурная площадь.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 21–27

SOME FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF SCOTS PINE SEEDLINGS (*Pinus sylvestris* L.) WITH CLOSED ROOT SYSTEM IN THE NURSERY AND ON THE FOREST AREA

E. M. Runova, A. V. Denisenko

Bratsk State University
40, Makarenko St., Bratsk, 665709, Russian Federation
E-mail: rector@brstu.ru

Abstract. The studies were carried out in the greenhouse-type forest nursery of Lesa Sibiri LLC, as well as in the forest-cultivation area located on the territory of the Kurbinsky forestry of the Oybontovsky district forestry of the Republic of Buryatia. 200 pine seedlings with a closed root system, grown in the greenhouse of the Lesa Sibiri nursery, were selected for the studies. Measurements were taken in the nursery in May 2024 before planting in the forest area. Seedlings were also measured at the forest area in July and October 2024. The biometric indicators of Scots pine seedlings were measured: root collar diameter, plant weight, root length, seedling height, soil temperature, and soil acidity. Also, in order to determine the influence of climatic factors on the growth and development of seedlings during the vegetation periods, the day-night temperature course was analyzed, the number of sunny, cloudy, and overcast days was determined, as well as the amount of precipitation from May to October. The main statistical indicators (arithmetic means, errors of the arithmetic mean, standard deviation, and coefficient of variation) were determined for all experimental data. It was found, that about 2 % of the seedlings grown and measured in the greenhouse did not reach the required standard dimensions in terms of stem thickness and height. After monitoring the size of the seedlings in the forest area, the average diameter in July almost reached the standard size of 1.98 mm, and in October it reached 2.43

mm. The height increased from 9.81 cm in May to 17.11 cm in October. Research has shown that, with some deviations from the standard dimensions, planting material reaches the size and quality characteristics that ensure high survival rates of pine forest crops by October in the Republic of Buryatia during spring planting.

Keywords: Scots pine, *Pinus sylvestris* L., seedlings, closed root system, forest nursery, reforestation, forest area.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и особенности роста сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой определяются совокупностью условий произрастания в тепличном комплексе, а также погодными условиями района их произрастания, а также температурным режимом, количеством осадков, влажностью воздуха, кислотностью почвы на лесокультурной площади в первый год после высадки.

Научные публикации по приживаемости сеянцев сосны с закрытой корневой системой (ЗКС) включают как отечественные, так и зарубежные работы. Исследования посвящены разным аспектам: росту сеянцев с ЗКС, адаптации в культурах, влиянию субстрата и других факторов на приживаемость. Так, многие авторы указывают на недостаточно высокую приживаемость сеянцев с ЗКС [1–4]. Низкая приживаемость сеянцев авторы объясняют жесткими климатическими условиями района исследований, в частности, высокой температурой на поверхности почвы, пересыханием верхнего слоя почвы и искривлением стержневого корня сеянца в торфяном брикете. Главной причиной отпада является развитие стержневого корня после посадки сеянцев на лесокультурную площадь не вглубь, а перпендикулярно поверхности почвы. С другой стороны, ряд авторов доказывают достаточно высокую приживаемость посадочного материала с ЗКС на лесокультурных площадях и отмечают что биометрические сеянцев, выращенных в торфяном субстрате, превышают аналогичные показатели сеянцев, выращенных на садовой почве, в 1,5–3 раза [5–20]. В публикациях зарубежных исследователей [22–23] уделяется внимание качеству выращиваемых лесных культур, в частности, снижению количества искривленных сеянцев.

В лесном питомнике ООО «Леса Сибири» Республики Бурятия было выращено 750 тысяч сеянцев сосны обыкновенной, из них 735 тыс. имеют стандартные значения в соответствии ГОСТ 3317–90 «Сеянцы деревьев и кустарников» [1], остальные 15 тысяч имели отклонения по одному из показателей, в частности, по диаметру стволика. Возникла необходимость изучения посадочного материала сосны с закрытой корневой системой, не достигшего стандартных размеров, так как оставлять в питомнике 2 % от выращенных сеянцев неэффективно, особенно если учесть, что этим посадочным материалом можно восстановить почти 7 гектаров леса. В связи с этим у питомников возникает необходимость выращивания посадочного материала стандартного посадочного материала и более детального изучения приживаемости сеянцев сосны с закрытой корневой системой на площадях, подлежащих лесовосстановлению.

Исследования проводились в питомнике ООО «Леса Сибири», а также на лесокультурной площади на территории Курбинского лесничества Ойбонтовского участкового лесничества Республики Бурятия.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой на лесокультурной площади за первый вегетационный период, изучение динамики роста биометрических показателей за вегетационный период от лесного питомника и до лесокультурной площади в период вегетации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в условиях питомника, а также на лесокультурной площади, с мая 2024 по октябрь 2024г. Посевы семян сосны обыкновенной в питомнике были сделаны в июне 2023г., торф использовался рецептуры 19/1/5,2, фракция 0–10 мм, комплексное удобрение PG Mix 1,0 кг/м³, Вид торфа – готовый питательный субстрат, Кислотность pH 5,5–6,5; влажность субстрата 55–65 %; плотность: ≤ 160кг/м³; фракция: 0–10 или 0–20 мм. Готовый питательный субстрат произведен в России, размеры брикета (38×38×80) – 250 литров. Комплексное удобрение PG Mix 1,0 произведено в Германии. Соответствует нормам ЕС. Содержит: азот, фосфор, калий, магний, серный ангидрид (SO₂), бор, железо, марганец, медь, молибден, цинк и другие, полезные для растений вещества. PG Mix – комплексное микрогранулированное удобрение содержит важные макро- и микроэлементы в доступных для растений соединениях. При выращивании сеянцев применялись, азотные, фосфорные, калийные удобрения, кассеты использовались 385×385×90, объем ячейки 85 куб. см. Сеянцы выросли в большинстве случаев со стандартными значениями, но 2 % от общего числа выхода сеянцев сосны обыкновенной имеют отклонения по диаметру корневой шейки в соответствии ГОСТ 3317–90 «Сеянцы деревьев и кустарников» [24] диаметр должен быть 2 мм. В связи с этим возникла необходимость провести исследования замерить все биометрические показатели сеянцев в питомнике, а затем перенести эти сеянцы на лесокультурную площадь и проследить за дальнейшим развитием.

В мае 2024 года началась подготовка сеянцев для лесовосстановления на лесном участке, в ходе которой замерялись все биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной, были определены следующие показатели, диаметр корневой шейки, вес торфяного кома в сухом виде, длина корня, высота сеянца, температура почвы, кислотность почвы.

Высота сеянцев и длина корней измерялась с помощью линейки, диаметр корневой шейки определялся электронным штангенциркулем, масса сеянцев определялась на электронных весах, температура почвы определялась почвенным термометром, кислотность почвы измерялась с помощью pH-метра.

Для определения роста всех биометрических показателей в периоды вегетации, был проведен анализ температуры воздуха день-ночь, определение солнеч-

ных, пасмурных, облачных дней, а также количество осадков с мая по октябрь, информация взята с официального сайта «Погода и климат» [25].

В качестве эксперимента было выбрано 200 штук семян сосны с закрытой корневой системой, сеянцы выращивались в кассетах РКЛ-100, в питомнике были сделаны замеры 23.05.2024 г., а также на лесном участке в квартале 133 выдела 2, 9, 12 на территории Курбинского лесничества, Ойбонтовского участкового лесничества, 10 июля 2024 г., и 10 октября 2024 г. Все сеянцы для данного исследования брались с одной борозды, т. е. сначала они выкапывались, измерялись все биометрические показатели, затем эти сеянцы повторно закапывались, для дальнейшего роста и изучения. Для всех экспериментальных данных определены основные статистические показатели (средние арифметические, ошибки среднего арифметического, стандартное отклонение, коэффициент вариации).

Лесовосстановление лесокультурной площади началось 26 мая 2024 года, характеристика лесного участка, рельеф равнинный, склон пологий СВ, гидрологические условия: отсутствия застоя, почва: подзолистая свежая супесчаная, была выбрана первая борозда для исследования ориентиром был деланочный столб.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На исследуемом участке в Курбинском лесничестве, участковое лесничество Ойбонтовское, в квартале 133 назначен способ проведения искусственного лесовосстановления методом посадки сосны обыкновенной с закрытой корневой системой. Для лесовосстановления этой площади сеянцы были выращены из семян 1 класса качества, 21 лесосеменного района Республики Бурятия, место сбора семян: Хоринское лесничество, сельское участковое лесничество, ТУ № 6 СПК «Улан-Одон» в кварталах 29–31. Проектом лесовосстановления количество сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой определено 2,2 тыс. штук на 1 гектаре, ширина борозды 70 см, расстояние между рядами 3,5 метра, глубина борозды 20 см, шаг посадки определен 1,20 м. Результаты измерения морфометрических показателей сеянцев в динамике и основные статистические показатели приведены в табл. 1 и 2.

Как видно из табл. 1 на выходе из теплицы высота сеянцев и диаметр корневой шейки не достигли требуемых стандартом разметов для лесной зоны Восточной Сибири (диаметр стволика – 2 мм, высота сеянцев 10 см) [24]. После высадки на лесокультурную площадь среднее значение диаметра стволика постепенно увеличилось, так в июле, среднее значение уве-

личилось до 1,97 мм, а к концу вегетационного периода 10 октября достигло 2,43 мм, при этом минимальное значение диаметра составило 0,95 мм, а максимальное до 4 мм. Высота сеянцев в теплице в май 2024 года немного не достигла стандартной высоты 10 см, при этом разница минимального и максимального значения высоты составила почти 2 раза (5,2 см – минимальное, 10,7 см – максимальное значение). При выращивании на лесокультурной площади в июле средняя высота достигла 12,25 см, а в октябре – 17,11 см. Как минимальное, так и максимальное значения были выше требуемых 10 см. Наибольшее значение коэффициента вариации (28,54–29,96 %) имеют размеры диаметра корневой шейки сеянцев, у размеров высоты сеянцев коэффициент вариации несколько меньше – от 7,69 до 25,10 %. В октябре 2024 года корневая шейка имеет уже стандартное значение, соответствии с ГОСТ 3317–90 «Сеянцы деревьев и кустарников», что позволяет сеянцу благополучно пережить зимний период.

Одним из вегетативных показателей является длина корневой системы у сеянцев сосны обыкновенной. В табл. 2 показана динамика прироста длины корневой системы от питомника до лесокультурной площади. Длина корней в теплице равняется высоте стаканчика, в июле не происходит нарастания корней, среднее арифметическое значение даже ниже, чем в мае, что связано с переходом корневой системы к условиям лесокультурной площади, а с июля по октябрь наблюдается значительный прирост длины корневой системы, и составляет 151,4 % по сравнению и показателями июля. Разница между минимальными и максимальными размерами корневой системы минимальная, коэффициент вариации находится в диапазоне 2,21–14,14 %.

В табл. 2 приведена динамика показателей длины корней и массы сеянцев с 23 мая по 10 октября 2024 года. Эти показатели не нормируются по ГОСТ [24], но показывают качественное состояние сеянцев.

Для полной достоверности исследуемых сеянцев сосны обыкновенной была измерена масса сеянцев в разные периоды с мая по октябрь 2024 года (данные приведены в табл. 2)

Масса сеянцев увеличилась с 23,84 г в мае до 41,37 в октябре 2024 года, увеличение массы составило 73,4 %. При этом коэффициент вариации большой (25,79–39,78 %).

Многие авторы (11–17) отмечают значение факторов окружающей среды на рост и формирование сеянцев в условиях тепличного комплекса и на лесокультурных площадях.

Таблица 1
Изменение нормируемых стандартом размеров сеянцев
(ГОСТ 3317–90. Сеянцы деревьев и кустарников. Технические условия.)

Дата исследования	Диаметр корневой шейки сеянцев					Высота сеянцев, см				
	Среднее значение d, мм	Min	Max	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации CV, %	Среднее значение высоты сеянца, h, см	Min	Max	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации CV, %
23.05.2024	1,71±0,11	0,60	2,4	0,4892	28,54	9,81±0,35	5,2	10,7	1,5630	15,93
10.07.2024	1,97±0,13	0,78	2,4	0,5860	29,54	12,25±0,68	10,0	16,7	3,0758	25,10
10.10.2024	2,43±0,16	0,95	4,0	0,7283	29,96	17,11±0,29	14,9	19,4	1,3164	7,69

Таблица 2
Изменение длины корневой системы и массы семян

Дата исследования	Длина корней семян, см					Масса семян, г				
	Среднее значение L, см	Min	Max	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации CV, %	Среднее значение, г	Min	Max	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации CV, %
23.05.2024	10,29±0,08	9,4	10,7	0,3386	3,29	23,84±1,37	13,1	36,1	6,1472	25,79
10.07.2024	10,08±0,05	10,0	11,5	0,2236	2,21	30,58±2,71	13,8	54,7	12,1636	39,78
10.10.2024	15,58±0,49	11,2	18,7	2,2047	14,14	41,37±2,62	25,4	68,3	11,7410	28,37

Для определения влияния климатических факторов на приживаемость и развитие семян в условиях лесокультурной площади проведен их анализ за май–октябрь 2024 года. В условиях теплицы семена получают достаточное количество тепла, влаги, питательных веществ, поэтому часто при создании лесных культур сеянцами с ЗКС растения не получают того оптимального режима как в условиях теплицы. Именно с этим связана невысокая приживаемость лесных культур, созданных сеянцами с ЗКС. Нашими предыдущими исследованиями доказано, что приживаемость семян с ЗКС в природно-климатических условиях Бурятии довольно высока и достигает более 85 % [5]. Климат района исследований резко континентальный засушливый. Весна начинается в первых числах апреля. Погода в это время неустойчива, осадков выпадает мало. Климатическое лето длится чуть более двух месяцев. В конце июля – начале августа выпадает значительное количество осадков. Но часто в летние месяцы погода сухая и жаркая. Осень характеризуется малым количеством осадков. Характерны резкие суточные колебания температуры воздуха и ранние ночные заморозки (рис. 1).

Для роста и развития семян в условиях лесокультурной площади проведен анализ климатических характеристик за вегетационный период 2024 года. На рис. 1 представлен график средних температур на лесокультурной площади с мая по октябрь 2024 года.

Из графика (рис. 1) видно, что максимальная плюсовая температура днем и ночью в июле, а минимальная в октябре. Перепады температуры днем и ночью незначительные, создаются достаточно благоприятные температурные режимы для роста семян.

Для полного анализа развития семян сосны обыкновенной с закрытой корневой системой, были также исследованы количество и соотношение солнечных, пасмурных и облачных дней (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что максимальное количество солнечных дней в июне, пасмурных в сентябре, облачных в октябре. Преобладают солнечные дни, при которых фотосинтез максимальный. Относительная влажность воздуха напрямую зависит от количества осадков, на рис. 3 приведены данные о количестве осадков, температуре и кислотности почвы за время исследования.

Наибольшее количество осадков выпало в июле и августе, что благоприятно повлияло на развитие семян с закрытой корневой системой на лесокультурной площади.

Следующим важным фактором для роста и развития семян сосны обыкновенной является температура и кислотность почвы. В графике (рис. 3) приведены данные об изменениях температуры почвы в периоды с мая по октябрь. Максимальные температуры зафиксированы в мае и в июле, средняя температура почвы в октябре свидетельствует о продолжении вегетации.

Воздействие температуры почвы один из средообразующих факторов, оказывает прямое влияние на все биометрические показатели семян сосны обыкновенной.

Оптимальный диапазон кислотности по мнению А. Н. Балашова [1928], для сосны является – pH от 3,5 до 8,0, для развития проростков – 5,0. Температура почвы в теплице и на лесокультурной площади была примерно одинакова в мае–июне, в октябре, несмотря на довольно низкие температуры воздуха, почва еще сохраняла температуры, позволяющие сеянцам давать прирост. Кислотность почвы в теплице наиболее оптимальна для выращивания семян сосны, на лесокультурной площади почвы нейтральные или слабощелочные, но на темпы прироста изменения кислотности существенно не сказалось.

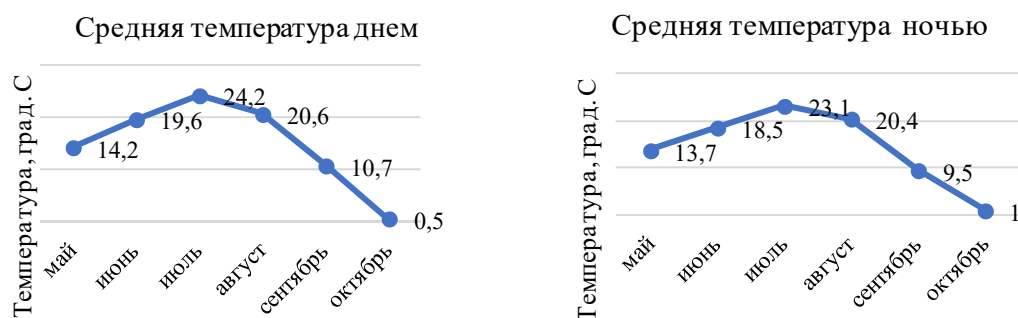


Рис. 1. Средняя температура днем и ночью за исследуемый период

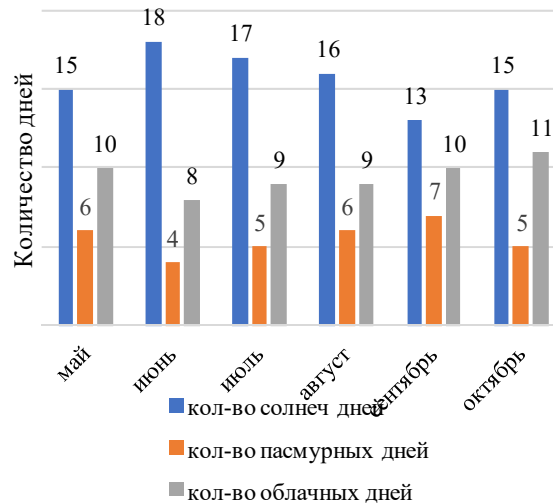


Рис. 2. Количество солнечных, облачных и пасмурных дней с мая по октябрь 2024 год

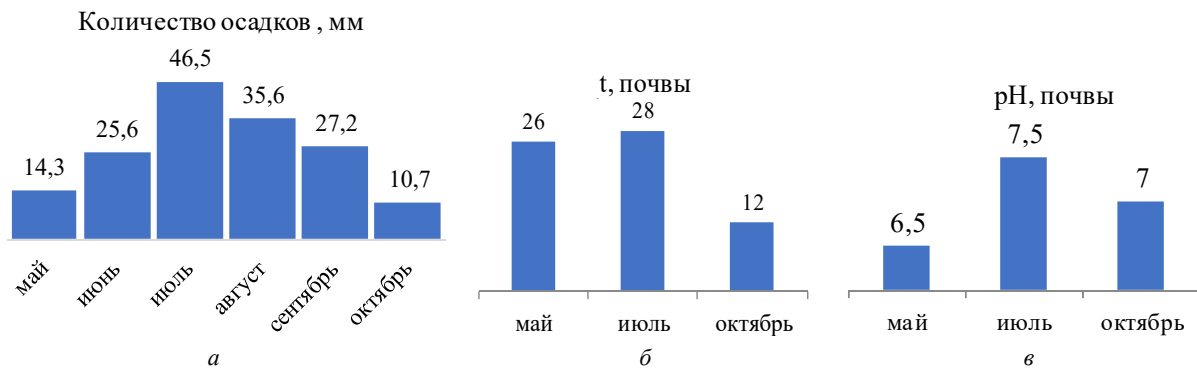


Рис. 3. Климатические показатели:

а – количество выпавших осадков с мая по октябрь 2024 года; *б* – температура почвы; *в* – кислотность почвы

ВЫВОДЫ

– Биологическая потребность сеянцев сосны обыкновенной с закрытой системой зависит от природных факторов, таких как температура воздуха, почвы, ее кислотность, количество осадков. Все эти факторы имеют важное значение на протяжении сезона вегетации и подготовке сеянцев к завершению вегетационного периода.

– Исследования показали, что при некоторых незначительных отклонениях от стандартных размеров сеянцев по диаметру стволика и высоте, посадочный материал к октябрю месяцу приобретает очень хорошие показатели по всем значениям.

– Произошло увеличение среднего диаметра стволика с мая по октябрь на 23,4 %, высоты сеянцев на 74,4 %, длины корней на 51,4 %, массы сеянцев на 73,5 %

– На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что посадку сосны закрытой корневой системой в весенний период в условиях резко-континентального климата Бурятии можно осуществлять, даже если одно из значений не соответствует стандарту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ананьев Е. М. Причины низкой приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с закрытой корневой системой // Актуальные проблемы лесного

комплекса. 2017. № 49. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prichiny-nizkoy-prizhivaemosti-lesnyh-kulturo-sozdavaemyh-seyantsami-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy> (дата обращения: 05.09.2025).

2. 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. № 12-1. С. 9–13. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37261> (дата обращения: 05.09.2025).

3. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гарях Алтайского края / А. А. Гоф, Е. В. Жигулин, С. В. Залесов, А. С. Оплетев // МНИЖ. 2019. № 12-2 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-sozdaniya-lesnyh-kulturo-seyantsami-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy-na-garyah-altayskogo-kрая> (дата обращения: 05.09.2025). DOI: 10.23670/IRJ.2019.90.12.073

4. Балашов А. Н. Записки лесной опытной станции Ленинградского с/х института. 1928. Вып. 3. 32 с.

5. Рунова Е. М., Денисенко А. В. Технологические аспекты выращивания сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой // Леса России хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 53–61. DOI: 10.51318/FRET.2025.92.1.006

6. Технологическое обеспечение работ по лесовосстановлению / Г. И. Иванюшева, В. И. Казаков, А. Б. Калякин и др. Пушкино : ВНИИЛМ, 2012. 212 с.

7. Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / А. В. Жигунов. СПб. : СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.

8. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения / С. В. Зелесов, А. Н. Лобанов, Н. А. Луганский. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 112 с.

9. Сахнов В. В., Пуряев А. С. Совершенствование технологий выращивания посадочного материала хвойных пород для целей лесовосстановления и лесоразведения в различных почвенно-климатических условиях // Проблемы воспроизводства лесов в Российской Федерации. Пушкино : ВНИИЛМ, 2015. С. 135–142.

10. 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. № 1024 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации : [сайт]. URL <https://docs.cntd.ru/document/728111110?ysclid=m972yalbga236515229> (дата обращения: 07.04.2025).

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

12. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых видов в лесных питомниках Республики Беларусь: ТКП 575-2015/2015. 55 с.

13. Голомазова Г. М. Световые и температурные кривые фотосинтеза хвойных древесных пород // Физиология растений. 1981. Т. 28, № 2. С. 263–268.

14. Суворова Г. Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск : ГЕО, 2009. 195 с.

15. Создание культур сосны сеянцами с открытой и закрытой корневой системой на горельнике в лесостепной зоне. Текст: электронный / В. И. Казаков, Н. Е. Проказин, А. А. Мартынюк и др. // Лесохозяйственная информация. 2023. № 4. С. 53–60. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.05

16. Бобушкина С. В., Мочалов Б. А., Шапошникова Л. В. Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Архангельской области // Леса и лесное хозяйство в современных условиях : материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Хабаровск : Изд-во ДальНИИЛХ, 2011. С. 81–84.

17. Мочалов Б. А., Бобушкина С. В. Эффективность использования семян с закрытыми и открытыми корнями при лесовосстановлении в северной подзоне тайги // Современные проблемы притундровых лесов : материалы Всерос. конф. с междунар. участием : сб. ст. Архангельск : Сев. (Арк.) федер. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2012. С. 252–257.

18. Бобушкина С. В., Мочалов Б. А. Влияние некоторых факторов среды и технологических приемов на рост и развитие семян сосны с закрытой корневой системой // Состояние лесов и актуальные проблемы лесо-

управления : мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием. Хабаровск : Изд-во ДальНИИЛХ, 2013. С. 107–111.

19. Рахматуллин И. Г., Сабиров А. М., Сабиров А. А. Сравнительная оценка приживаемости семян сосны обыкновенной выращенных с открытой и закрытой корневой системой высаженных в приовражных защитных насаждениях близ села Сардаусь муниципального района Кукморский Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 155–161. DOI: <https://doi.org/10.12737/6550> (дата обращения: 05.09.2025).

20. Граник А. М., Крук Н. К. Приживаемость лесных культур сосны обыкновенной, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой, в связи со сроками посадки и условиями произрастания // Лесное хозяйство : тез. докл. 81-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–12 февраля 2017 г. / Белорусский государственный технологический университет. Минск : БГТУ, 2017. С. 47.

21. Тагильцева А. А. Опыт применения посадочного материала сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в Алтайском Крае // Вестник молодежной науки Алтайского гос. аграр. ун-та. 2024. № 1. Tainer-grown Scots pine trees // Silva Fennica. 2004. Vol. 38, No. 2. P. 143–153.

22. Warensjö M., Rune G. Stem straightness and compression wood in a 22-year-old stand of container-grown Scots pine trees // Silva Fennica. 2004. Vol. 38, No. 2. P. 143–153.

23. Lindström A., Rune G. Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: Effects on root growth, tree stability and stem straightness // Plant and Soil. 1999. Vol. 217, No. 1-2. P. 29–37.

24. ГОСТ 3317–90. Наименование. Сеянцы деревьев и кустарников. Технические условия. Дата введения. 01.07.1991.

25. Погода и климат : сайт. URL: <https://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 12.05.2025).

REFERENCES

1. Anan'ev E. M. Prichiny` nizkoj prizhivaemosti lesny`x kul'tur, sozdavaemy`x seyancami s zakry`toj kornevoj sistemoj // Aktual'ny'e problemy` lesnogo kompleksa. 2017. № 49. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prichiny-nizkoj-prizhivaemosti-lesnyh-kultur-sozdavaemyh-seyantsami-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy> (data obrashheniya: 05.09.2025).

2. Gof A. A., Zhigulin E. V., Zalesov S. V. Prichiny` nizkoj prizhivaemosti seyancev sosny` oby`knovennoj s zakry`toj kornevoj sistemoj v lentochny`x borax Altaya // Uspexi sovremennogo estestvozna-niya. 2019. № 12-1. S. 9–13. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37261> (data obrashheniya: 05.09.2025).

3. Gof A. A., Zhigulin E. V., Zalesov S. V. Opletaev A. S. Experience in Creating Forest Cultures with Seedlings with a Closed Root System on Burned Lands in the Altai Territory // MNIZH. 2019. No. 12-2 (90). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-sozdaniya-lesnyh-kultur-seyantsami-s-zakrytoy-kornevoy-sistemoy>

na-garyah-altayskogo-kрая (accessed: 05.09.2025). DOI: 10.23670/IRJ.2019.90.12.073

4. Balashov A. N. Zapiski lesnoj opy'tnoj stancii Leningradskogo s/x in-stituta. 1928. Vy'p. 3. 32 s.

5. Runova E. M., Denisenko A. V. Teknologicheskie aspekty' vy'rashhivaniya seyancev sosny' oby'knovennoj (*Pinus sylvestris* L.) s zakry'toj kornevoj sistemoy // Lesa Rossii xozyajstvo v nix. 2025. № 1 (92). S. 53–61. DOI: 10.51318/FRET.2025.92.1.006

6. Ivanyusheva G. I. Teknologicheskoe obespechenie rabot po lesovosstanovleniyu / G. I. Ivanyusheva, V. I. Kazakov, A. B. Kalyakin i dr. Pushkino : VNIILM, 2012. 212 s.

7. Zhigunov A. V. Teoriya i praktika vy'rashhivaniya posadochnogo materiala s zakry'toj kornevoj sistemoy. SPb. : SPbNIILX, 2000. 293 s.

8. Zalesov S. V., Luganskij N. A., Lobanov A. N. Rost i produktivnost' sosnyakov iskusstvennogo i estestvennogo proisxozhdeniya. Ekaterinburg : Ural. gos. Lesotexn. un-t. 2002. 112 s.

9. Saxnov V. V., Puryaev A. S. Sovershenstvovanie tekhnologij vy'rashhivaniya posadochnogo materiala xvojn'x porod dlya celej lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v razlichny'x pochvenno-klimaticheskix usloviyax // Problemy' vosproizvodstva lesov v Rossijskoj Federacii. Pushkino : VNIILM, 2015. S. 135–142.

10. Ob utverzhdenii pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovanij dlya otkaza v ego soglasovanii, a takzhe trebovanij k formatu v e'lektronnoj forme proekta lesovosstanovleniya: utv. prikazom Minprirody' Rossii ot 29.12.2021. № 1024 // E'lektronny'j fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy informacii : sajт. URL <https://docs.cntd.ru/document/728111110?ysclid=m972yalbga236515229> (data obrashheniya: 07.04.2025).

11. Sinnikov A. S., Mochalov B. A., Drachkov V. N. Vy'rashhivanie seyancev xvojn'x porod v polietilenovy'x teplicax. M. : Agropromizdat, 1986. 125 s.

12. Nastavlenie po vy'rashhivaniyu posadochnogo materiala drevesny'x i kustarnikov'x vidov v lesny'x pitomnikax respubliky Belarus' : TKP 575-2015/2015. 55 s.

13. Golomazova G. M. Svetovy'e i temperaturny'e krivy'e fotosinteza xvojn'x drevesny'x porod // Fiziologiya rastenij. 1981. T. 28, № 2. S. 263–268.

14. Suvorova G. G. Fotosintez xvojn'x derev'ev v usloviyax Sibiri. Novosibirsk : GEO, 2009. 195 s.

15. Sozdanie kul'tur sosny' seyancami s otkry'toj i zakry'toj kornevoj sistemoy na gorel'nike v lesostepnoj zone. Tekst: e'lektronny'j / V. I. Kazakov, N. E. Prokazin, A. A. Marty'nyuk, E. N. Lobanova, I. V. Kazakov, D. Yu. Druchinin // Lesoxozyajstvennaya informaciya. 2023, № 4. S. 53–60. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.05

16. Bobushkina S. V., Mochalov B. A., Shaposhnikova L. V. Opy't vy'rashhivaniya posadochnogo materiala s zakry'toj kornevoj sistemoy v Arxangel'skoj oblasti // Lesa i lesnoe xozyajstvo v sovremenny'x usloviyax:

materialy' vserossijskoj konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem. Xabarovsk : Izd-vo Dal'NIILX, 2011. S. 81–84.

17. Mochalov B. A., Bobushkina S. V. E'ffektivnost' ispol'zovaniya seyancev s zakry'ty'mi i otkry'ty'mi korn'yami pri lesovosstanovlenii v severnoj podzone tajgi // Sovremennyy'e problemy' pritundrov'x lesov : materialy' Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem : sbornik statej. Arkhangel'sk : Sev. (Ark.) feder. un-t im. M. V. Lomonosova, 2012. S. 252–257.

18. Bobushkina S. V., Mochalov B. A. Vliyanie nekotory'x faktorov sredy' i tekhnologicheskix priemov na rost i razvitie seyancev sosny' s zakry'toj kornevoj sistemoy // Sostoyanie lesov i aktual'ny'e problemy' lesoupravleniya : mat-ly' Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem. Xabarovsk : Izd-vo Dal'NIILX, 2013. S. 107–111.

19. Raxmatullin I. G., Sabirov A. M., Sabirov A. A. Sravnitel'naya ocenka prizhivaemosti seyancev sosny' oby'knovennoj vy'rashhenny'x s otkry'toj i zakry'toj kornevoj sistemoy vy'sazhenny'x v priovrazhny'x zashhitny'x nasazhdeniyax bliz sela Sardaus' municipal'nogo rajona Kukmorskij Respubliki Tatarstan // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. № 3. S. 155–161. DOI: <https://doi.org/10.12737/6550> (data obrashhe-niya: 05.09.2025).

20. Granik A. M., Kruk N. K. Prizhivaemost' lesny'x kul'tur sosny' oby'knovennoj, sozdanny'x posadochny'm materialom s zakry'toj kornevoj sistemoy, v svyazi so srokami posadki i usloviyami proizrastaniya // Lesnoe xozyajstvo : tezisy' dokladov 81-j nauchno-tekhnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchny'x sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodny'm uchastiem), Minsk, 1–12 fevralya 2017 g. / Belorusskij gosudarstvenny'j tekhnologicheskij universitet. Minsk : BGUTU, 2017. S. 47.

21. Tagil'ceva A. A. Opy't primene-niya posadochnogo materiala sosny' oby'knovennoj s otkry'toj i zakry'toj kornevoj sistemoy pri iskusstvennom lesovosstanovlenii v Altajskom krae // Vestnik molodezhnoj nauki Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. № 1. Tainer-grown Scots pine trees // Silva Fennica. 2004. Vol. 38, No. 2. P. 143–153.

22. Warensjö M., Rune G. Stem straightness and compression wood in a 22-year-old stand of container-grown Scots pine trees // Silva Fennica. 2004. Vol. 38, No. 2. P. 143–153.

23. Lindström A., Rune G. Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: Effects on root growth, tree stability and stem straightness // Plant and Soil. 1999. Vol. 217, No. 1-2. P. 29–37.

24. GOST 3317–90. Naimenovanie. Seyancy derev'ev i kustarnikov. Tekhnicheskie usloviya. Data vvedeniya. 01.07.1991.

25. Pogoda i klimat : sajт. URL: <https://www.pogodaiklimat.ru> (data obrashheniya: 12.05.2025).

© Рунова Е. М., Денисенко А. В., 2026

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ В ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ

И. Ю. Адамович, В. В. Сиваков, Д. В. Челак

Брянский государственный инженерно-технологический университет
Российская Федерация, 241037, г. Брянск, просп. Станке Димитрова, 3
E-mail: igor_adamovich@mail.ru, sv@bgitu.ru, juNN10RR@yandex.ru

Аннотация. В статье проведен анализ существующих способов лишеноиндикации, особое внимание уделялось использованию современных информационных технологий для полной или частичной автоматизации при определении общего и частного проективного покрытия эпифитных лишайников. Изучение проективного покрытия требует скрупулезной работы и значительное время на определение площадей, покрытых различными видами лишайников. Использование нейронных сетей для нахождения объектов на изображениях представляет собой мощный инструмент для решения задач компьютерного зрения, позволяющий автоматизировать многие этапы работы, увеличить точность определения проективного покрытия, значительно сокращает время, потраченное на сбор и анализ материала, устранить субъективность, по сравнению с традиционными методами. Одним из наиболее эффективных инструментов для решения подобных задач является библиотека Detectron2, разработанная Facebook AI Research. Detectron2 позволяет создавать и обучать модели для задач объектного детектирования и сегментации. При исследовании эпифитной лишенофлоры были отобраны модельные деревья, проводилась фотофиксация, полученные изображения сохраняли в формате растровой графики JPEG. Для обработки и анализа исследуемого материала использовали библиотеку Detectron2, которую обучили для детектирования объектов (эпифитных лишайников) на поверхности деревьев, а также для расчета общей площади покрытия эпифитной лишенофлоры и площади, занимаемой каждым видом. Исследования показали высокую эффективность использования библиотеки Detectron2, обеспечивающей более высокую точность определения проективного покрытия эпифитных лишайников, по сравнению с глазомерными методами, а также более высокую скорость обработки и анализа материала. Это дает возможность рекомендовать использование современных информационных технологий в исследованиях эпифитной лишенофлоры.

Ключевые слова: проективное покрытие, лишеноиндикация, нейросети, информационные технологии, лишайники.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 28–33

USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN DETERMINING THE PROJECTIVE COVERAGE OF EPIPHYTIC LICHENS IN LICHENOLOGY

I. Yu. Adamovich, V. V. Sivakov, D. V. Chelak

Bryansk State Technological University of Engineering
3, Stanke Dimitrova str., Bryansk, 241037, Russian Federation
E-mail: igor_adamovich@mail.ru, sv@bgitu.ru, juNN10RR@yandex.ru

Abstract. The article analyzes the existing methods of lichen indication, with a special focus on the use of modern information technologies for full or partial automation in determining the general and specific projective coverage of epiphytic lichens. The study of projective coverage requires meticulous work and significant time to determine the areas covered by different types of lichens. The use of neural networks for object detection in images is a powerful tool for solving computer vision problems, allowing for the automation of many stages of work, increasing the accuracy of determining the projective coverage, significantly reducing the time spent on collecting and analyzing data, and eliminating subjectivity compared to traditional methods. One of the most effective tools for solving such tasks is the Detectron2 library, developed by Facebook AI Research. Detectron2 allows you to create and train models for object detection and segmentation tasks. In the study of epiphytic lichen flora, model trees were selected, photographic recording was performed, and the resulting images were saved in JPEG raster graphics format. To process and analyze the studied material, we used the Detectron2 library, which was trained to detect objects (epiphytic lichens) on the surface of trees, as well as to calculate the total area covered by epiphytic lichen flora and the area occupied by each species. Our research has shown that the Detectron2 library is highly effective in determining the projected coverage of epiphytic lichens with higher accuracy compared to visual methods, and it also offers faster processing and analysis of the material. This makes it possible to recommend the use of modern information technologies in studies of epiphytic lichen flora.

Keywords: projective coverage, lichen indication, neural networks, information technologies, lichens.

ВВЕДЕНИЕ

Население Земли увеличивается, естественные биогеоценозы сменяются антропоценозами, или попадают под их влияние. Одним из наиболее значимых воздействий на природные и искусственные экосистемы является загрязнение атмосферного воздуха. Загрязнение атмосферы в значительной мере оказывает влияние на состояние почвы, гидросферы, флоры, фауны и здоровье людей: может вызывать эмфизему, астму, хроническую обструктивную болезнь легких. В современном мире требуются эффективные системы мониторинга уровня загрязнения воздуха, что позволит улучшить условия жизни людей, животных, растений, способствует сохранению биоразнообразия [8].

Имеется множество методик исследования состояния окружающей природной среды, среди них особое место занимают биоиндикационные методы. Они относительно просты, не требуют дорогостоящих приборов и реактивов и объективно отражают ответные реакции живых организмов на различные виды антропогенных воздействий. Особенности использования биоиндикаторов позволяют использовать их для проведения мониторинга состояния биоценозов, находящихся под воздействием антропогенных факторов [7], а также в проектах экологического оздоровления [5].

В биоиндикации важное место занимает лишеноиндикация – оценка качества природной среды на основе исследования распространения и состава лишайников. Лишайники весьма чувствительны к загрязнению окружающей среды, что делает их ценными биоиндикаторами [6; 7; 8; 12; 18]. У лишайников нет покровных тканей, поглощение воды и питательных веществ происходит поверхностью таллома, и накопление поллютантов происходит в больших объемах, что приводит к угнетению и гибели.

Современные методы биоиндикации с использованием лишайников разделяют две группы: активную (трансплантационные методы) и пассивную лишеноиндикацию. Активная лишеноиндикация представляет собой метод трансплантации, то есть перемещения лишайников-биоиндикаторов из естественной среды в исследуемый район [6]. Эта методика применяется для долговременного мониторинга (от 6 месяцев до нескольких лет) с XIX века [19]. В основу метода пассивной лишеноиндикации заложена оценка лишайников, выросших в естественной среде. Объектом исследования является лишенофлора, произрастающая на различных субстратах: почве, древесине, искусственных и природных камнях, бетоне, растениях и т. п. Одним из наиболее перспективных объектов является эпифитная лишенофлора [8]. По общему проективному покрытию, а также по проективному покрытию отдельных видов можно, используя шкалы чувствительности лишайников и специальные индексы [12], судить о загрязнении окружающей среды [7]. Была установлена зависимость флоры лишайников от степени загрязнения воздуха [6; 18], по элементному составу лишайников можно судить о наличии в атмосферном воздухе поллютантов [9]. В настоящее время индексы лишеноиндикации используются для оценки

состояния окружающей среды урбозкосистем [1]. Эпифитные лишайники доступны для исследования в любое время года, что позволяет проводить исследование независимо от сезона. Загрязнение атмосферного воздуха приводит к уменьшению количества видов эпифитных лишайников, отмечается изменение встречаемости отдельных видов и их проективного покрытия [13].

Для определения степени проективного покрытия слоевищами лишайников ствола дерева, в настоящее время используются палетки [15] или метод линейных пересечений [10]. Данные методы весьма трудоемки и требуют значительное время на проведение исследования.

В настоящее время имеется методика, позволяющая автоматизировать обработку материала при определении общего проективного покрытия лишайников с использованием информационных технологий. Графические файлы, полученные на пробных площадях, обрабатывали в компьютерной программе, рассчитывающей общую площадь изображения, а также площадь занятых лишайниками областей, что позволило определить общее проективное покрытие лишайников [3]. Но данная методика не позволяет определять площади, занятые каждым видом лишенофлоры, что является важным показателем в лишеноиндикации. Разработка методов использования информационных технологий для решения этой задачи позволит повысить точность расчетов и сократить время обработки материала.

Современные технологии машинного обучения и компьютерного зрения активно применяются для решения разнообразных задач, таких как распознавание объектов на изображениях, классификация и сегментация [2]. В последние годы эти технологии становятся все более доступными, что позволяет использовать их для решения специфических задач в самых разных областях [11; 14]. Одной из таких задач является нахождение и анализ объектов на изображениях природных сцен, таких, как проективное покрытие эпифитных лишайников на стволах деревьев. Для решения этой задачи можно использовать нейронные сети, обученные на соответствующих наборах данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Одним из наиболее эффективных инструментов для решения задач распознавания объектов на изображениях, их дальнейшая классификация и сегментация, является библиотека Detectron2, разработанная Facebook AI Research. Detectron2 позволяет создавать и обучать модели для задач объектного детектирования и сегментации [20]. В статье рассмотрено, как с помощью Detectron2 можно обнаружить объекты нашего исследования на изображениях и вычислить площадь этих объектов. Объекты нашего исследования – эпифитные лишайники. Исследования проводились маршрутным методом, были отобраны модельные деревья, для определения эпифитной лишенофлоры образцы отбирались по стандартным методикам, проводилась фотофиксация. Определение вида лишайника в лабораторных условиях проводили с помощью определителей [4; 16; 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применение нейронных сетей для детектирования объектов: для начала нужно обучить модель для распознавания объектов исследования. Основная задача здесь – корректно разметить изображения, обучить модель и провести инференс (предсказания) на новых изображениях. Данный процесс можно разделить на ряд этапов, «шагов»:

- а) шаг первый – разметка данных;
- б) шаг второй – обучение модели;
- в) шаг третий – инференс (предсказания).

Шаг 1: Разметка данных

Первым шагом при обучении модели является разметка данных. Это означает, что для каждого изображения необходимо вручную выделить области, которые соответствуют объектам, которые мы хотим обнаружить. Объектами определения в нашем исследовании является эпифитный лишайник на коре дерева. Основой для определения проективного покрытия лишайников служит исходная фотофиксация эпифитной лишенофлоры без разметки. Фотофиксацию осуществляли на высоте 1, 5 метра с северной, восточной, южной и западной части ствола дерева. Полученные изображения сохраняли в формате растровой графики JPEG (рис. 1).

Для аннотации данных был использован инструмент MakeSense, который является онлайн-платформой разметки изображений. Этот инструмент позволяет выделять области интереса (например, прямоугольники или маски), ассоциируя их с метками объектов.

В нашей работе области интереса представлены эпифитные лишайники. Для получения нужного результата, первоначально необходимо выделить площади, занятые различными видами эпифитов, отдель-

но выделить кору дерева, лишенную покрытия, а также отграничить зону дерева от окружающего фона фотографии.



Рис. 1. Исходная фотофиксация эпифитной лишенофлоры без разметки

На рис. 2 представлена фотофиксация с размеченными объектами, среди которых различные виды эпифитной лишенофлоры, бриофлоры, а также кора дерева, не имеющая эпифитов.

Результатом разметки изображений является возможность выгрузить аннотации – размеченные данные, необходимые для дальнейшей классификации объектов.

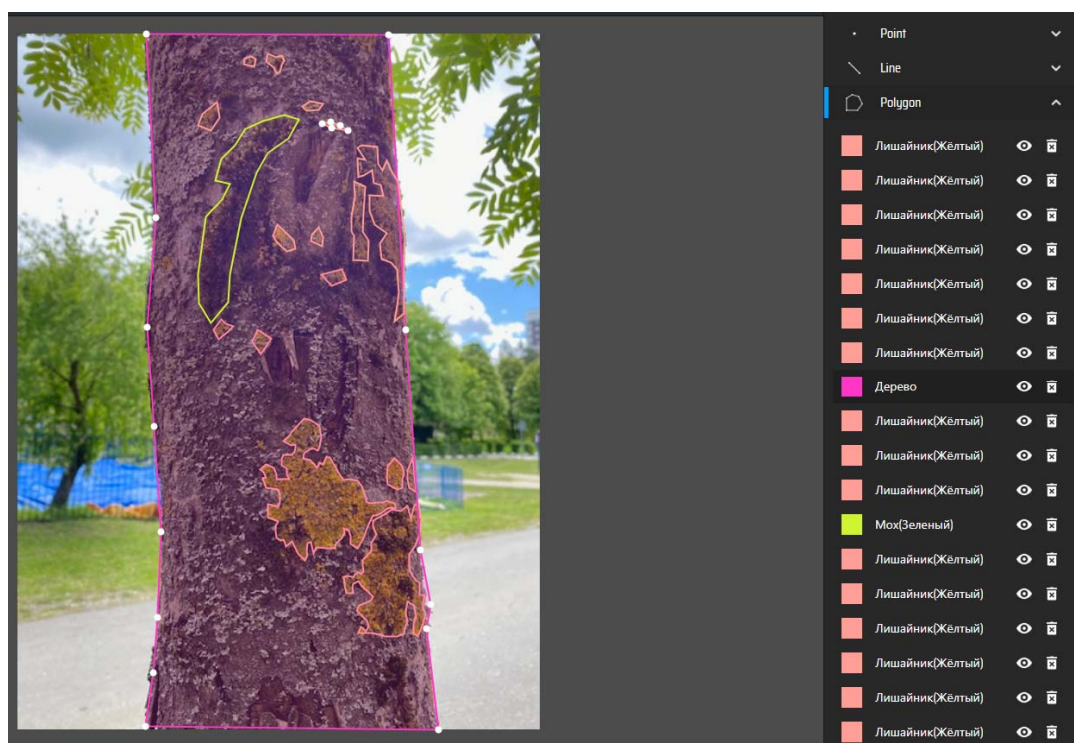


Рис. 2. Фотофиксация с размеченными объектами

Шаг 2: Обучение модели

После того, как все данные размечены, их можно использовать для обучения модели. Для обучения модели Detectron2 потребуется сконфигурировать модель, настроить параметры, такие как количество классов, и указать путь к размеченным данным. Для этих целей можно использовать модель Faster R-CNN, которая хорошо подходит для задач объектного детектирования. В процессе обучения модель будет учиться распознавать объекты на основе размеченных данных.

Ниже представлен разработанный нами блок обучения лишайника:

```
cfg = get_cfg() # Создаем объект конфигурации
cfg.merge_from_file(model_zoo.get_config_file("CO
CO-Detection/faster_rcnn_R_50_FPN_3x.yaml")) # За-
гружаем предопределенную конфигурацию модели
Faster R-CNN
cfg.MODEL.ROI_HEADS.NUM_CLASSES = 1 #
Указываем количество классов, которые модель
должна распознавать (в нашем случае 1 – лишайник)
cfg.MODEL.WEIGHTS =
model_zoo.get_checkpoint_url("COCO-
Detection/faster_rcnn_R_50_FPN_3x.yaml") # Загружа-
ем веса предобученной модели
cfg.SOLVER.IMS_PER_BATCH = 2 # Устанавли-
ваем размер мини-пакета (batch size) для обучения
cfg.SOLVER.BASE_LR = 0.00025 # Задаем на-
чальную скорость обучения
cfg.SOLVER.MAX_ITER = 1000 # Устанавливаем
максимальное количество итераций обучения
cfg.MODEL.ROI_HEADS.SCORE_THRESH_TEST
= 0.5 # Устанавливаем порог уверенности для пред-
сказаний (модель будет считать объект обнаружен-
ным, если ее уверенность выше 0.5)
cfg.DATASETS.TRAIN = ("train_dataset",) # Ука-
зываем имя набора данных для обучения
cfg.DATASETS.TEST = ("test_dataset",) # Указы-
ваем имя набора данных для тестирования
cfg.OUTPUT_DIR = "/content/drive/MyDrive/output"
# Задаем путь к папке, где будут сохранены результа-
ты обучения
```

В этом блоке кода мы настраиваем модель для обнаружения лишайника. Сначала мы загружаем предварительно обученную модель 'faster_rcnn_R_50_FPN_3x', которая уже умеет различать множество объектов.

Затем мы адаптируем ее для распознавания только одного класса – лишайников. Указываем количество классов, загружаем веса обученной модели, настраиваем параметры обучения (размер мини-пакета, скорость обучения, количество итераций), задаем порог уверенности для предсказаний и указываем, откуда брать данные для обучения и тестирования. Мы устанавливаем минимальный порог уверенности (0,5), чтобы модель определяла, когда найден визуальный паттерн, соответствующий лишайнику.

Шаг 3: Инференс (предсказания)

После того как модель обучена, можно использовать её для предсказания на новых изображениях.

В процессе инференса модель будет находить объекты, соответствующие нашему классу (бриофит/ лишайнофит) на изображениях.

Для этих целей используется следующий код предсказания и визуализации:

```
from detectron2.engine import DefaultPredictor
import cv2
import matplotlib.pyplot as plt

cfg = get_cfg()
cfg.merge_from_file(model_zoo.get_config_file("CO
CO-Detection/faster_rcnn_R_50_FPN_3x.yaml"))
cfg.MODEL.ROI_HEADS.NUM_CLASSES = 1 #
Наш класс — мох
cfg.MODEL.WEIGHTS =
"/content/drive/MyDrive/output/model_final.pth" # Путь
к сохраненной модели
cfg.MODEL.ROI_HEADS.SCORE_THRESH_TEST
= 0.5 # Порог предсказания

predictor = DefaultPredictor(cfg)

image_path =
"/content/drive/MyDrive/moss/train/some_image.jpg"
image = cv2.imread(image_path)
image_rgb = cv2.cvtColor(image,
cv2.COLOR_BGR2RGB)

outputs = predictor(image)

# Визуализация
plt.imshow(image_rgb)
plt.axis("off")
plt.show()
```

Представленный выше код делает предсказание и визуализирует результат, показывая выделенные области вокруг объектов, которые были обнаружены нейронной сетью.

Расчет площади объектов

Одной из ключевых задач является расчет площади объектов, обнаруженных нейронной сетью. Площадь можно вычислить на основе координат bounding box, который обводит каждый обнаруженный объект. Площадь объекта рассчитывается как произведение его ширины и высоты.

Ниже представлен разработанный нами блок расчета площади объектов:

```
boxes =
outputs["instances"].pred_boxes.tensor.numpy()
image_height, image_width, _ = image.shape
total_area = image_width * image_height

for i, box in enumerate(boxes):
    x1, y1, x2, y2 = box
    width = x2 - x1
    height = y2 - y1
    area = width * height
    area_percentage = (area / total_area) * 100
```

```
print(f'Объект {i + 1}: Площадь = {area:.2f} px²,  
Площадь в процентах = {area_percentage:.2f}%')
```

Этот код извлекает координаты bounding box, вычисляет площадь объекта в пикселях, а затем вычисляет, какую долю от всей площади изображения составляет этот объект. Вывод (итоговые данные) показывает, как размер объекта в пикселях, так и его процентное соотношение. В итоге получаем изображение, где найдены объект и занимаемая им площадь, и ее доля (в %) от общей площади поверхности участка ствола древесного растения (рис. 3). Определение вида лишайника в лабораторных условиях проводили с помощью определителей [4; 16; 17].

Объект 1:
Площадь в пикселях = 59979.10 px²
Площадь в процентах = 19.52%



Рис. 3. Идентифицированный объект с рассчитанной занимаемой им площадью

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современной биоиндикации важное место занимает лишеноиндикация, использующая анализ проективного покрытия эпифитной лишенофлоры. Эти исследования требуют скрупулезной работы и значительное время на определение площадей, покрытых различными видами лишайников. Использование нейронных сетей для нахождения объектов на изображениях представляет собой мощный инструмент для решения задач компьютерного зрения, позволяющий автоматизировать многие этапы работы, увеличивает точность определения проективного покрытия, устранит субъективность, по сравнению с традиционными методами. Наши исследования показали возможность использования для этих целей библиотеки Detectron2, которую можно обучить для детектирования объектов (эпифитных лишайников) на поверхности деревьев, а также рассчитать общую площадь покрытия эпифитной лишенофлоры и площадь, занимаемую каждым видом.

Нейронные сети могут быть полезны для анализа компонентов природных экосистем, мониторинга состояния растений, и в других областях, где требуется анализ изображений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анищенко Л. Н. Количественная лишеноиндикация: лишеноиндикационный индекс // Учебные записки Орловского государственного университета. Сер.: Естественные, технические и медицинские науки. 2013. № 6. С. 91–93.
2. Бади́ка Е. М., Зырянов Д. А., Бабчи́нецкий С. Г. Модели нейронной сети для обнаружения объектов // Кронос. 2022. Т. 7, № 6 (68). С. 14–18.
3. Башмаков Д. И. Биологические аспекты распространения, адаптации и устойчивости растений // Материалы всероссийской (с международным участием) научной конференции, Саранск, 20–22 ноября 2014 года. Саранск : Мордовский гос. ун-т им. Н. П. Огарёва, 2014. С. 31–35.
4. Голубкова Н. С. Определитель лишайников средней полосы Европейской части СССР. М.-Л. : Наука, 1966. 256 с.
5. Горещая А. Г., Калужная И. Ю., Марголина И. Л. Перспективы использования методов лишеноиндикации в экологическом образовании // Вестник Московского городского педагогического университета. Сер.: Естественные науки. 2017. № 1 (25). С. 93–100.
6. Заку́тнова В. И. Лишайники в экологическом мониторинге Астраханского региона // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2004. № 4. С. 100–107.
7. Захарова Н. Ю., Кузнецова И. С., Кропова Ю. Г. Биоиндикация загрязнения воздуха района Нагатинно-Садовники методом лишеноиндикации // Вестник Московского городского педагогического университета. Сер.: Естественные науки. 2024. № 2 (54). С. 10–22. Doi: 10.25688/2076-9091.2024.54.2.01
8. Комплексная орнито-лишенологическая оценка состояния воздушного бассейна г. Рязани на базе картографического подхода / Е. С. Иванов, А. В. Барановский, Э. А. Блинова, М. В. Ленков // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. Т. 1, № 2. С. 45–55.
9. Каширина Е. С., Медведков А. А., Новиков А. А. Оценка состояния приземного атмосферного воздуха в юго-западном крыму по данным лишеноиндикации // Известия Томск. политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 8. С. 126–138.
10. Малышкин Н. Г. Оценка состояния атмосферного воздуха в районе деятельности промышленного предприятия методом лишеноиндикации // Успехи современного естествознания. 2018. № 11 (ч. 2). С. 361–365. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36953>
11. Ненахов И. Д., Артемов К., Забихифар С., Семочкин А. Н., Колубин С. А. Сегментация объектов с функцией дообучения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 3. С. 194–203.
12. Никишина Д. А., Таллер Е. Б. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния комбината «Каменский» методом лишеноиндикации // Вестник науки. 2023. Т. 3, № 12 (69). С. 1263–1269.
13. Сионова Н. А., Криворотов С. Б. Изменение проективного покрытия эпифитных лишайников в разных зонах урбоэкосистемы г. Краснодара // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2008. № 2. С. 85–86.
14. Исследование сверточных нейронных сетей для обнаружения объектов на аэрокосмических снимках /

В. О. Скрипачев, М. В. Гуйда, Н. В. Гуйда, А. О. Жуков // *International Journal of Open Information Technologies*. 2022. Т. 10, № 7. С. 54–64.

15. Слонов Т. Л. Лихеноиндикация загрязненности окружающей среды // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2010. № 2. С. 111–115.

16. Список лишенофлоры России. СПб., 2010. 194 с.

17. Цуриков А. Г., Храмченкова О. М. Листоватые и кустистые городские лишайники: атлас-определитель. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. 123 с.

18. Шинов Р. М. Качественная оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха озера Шамсутдин газообразными и твердыми поллютантами // *Инновационная наука*. 2019. № 10. С. 7–8.

19. Brodo I. M. Transplanted experiments with corticolus lichens using a new technique // *Ecology*. 1961. Vol. 42. P. 838–841.

20. Detection, instance segmentation, and classification for astronomical surveys with deep learning (deepdisc): detectron2 implementation and demonstration with Hyper Suprime-Cam data / G. Merz, Y. Liu, C. J. Burke [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2023. Vol. 526, No. 1. P. 1122–1137.

REFERENCES

1. Anishenko L. N. Kolichestvennaya lihenoindikaciya: lihenoindikacionnyj indeks // *Uchebnye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser.: Estestvennye, tekhnicheskie i medicinskie nauki. 2013. № 6. S. 91–93.

2. Badika E. M., Zyryanov D. A., Babchinskij S. G. Modeli nejronnoj seti dlya obnaru-zheniya obektov // *Kronos*. 2022. Т. 7, № 6 (68). S. 14–18.

3. Bashmakov D. I. Biologicheskie aspekty rasprostraneniya, adaptacii i ustojchivo-sti rastenij // *Materialy vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoj konferencii, Saransk, 20–22 noyabrya 2014 goda*. Saransk: Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya «Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N. P. Ogaryova», 2014. S. 31–35.

4. Golubkova N. S. *Opredelitel lishajnikov srednej polosity Evropejskoj chasti SSSR*. M.-L. : Nauka, 1966. 256 s.

5. Goreckaya A. G., Kalyuzhnaya I. Yu., Margolina I. L. Perspektivy ispolzovaniya me-todov lihenoindikacii v ekologicheskom obrazovanii // *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta*. Ser.: Estestvennye nauki. 2017. № 1 (25). S. 93–100.

6. Zakutnova V. I. Lishajniki v ekologicheskom monitoringe Astrahanskogo regiona // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2004. № 4. S. 100–107.

7. Zaharova N. Yu., Kuznecova I. S., Kropova Yu. G. Bioindikaciya zagryazneniya vozduha rajona Nagatino-Sadovniki metodom lihenoindikacii // *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta*. Ser.: Estestvennye nauki. 2024. № 2 (54). S.10–22. Doi: 10.25688/2076-9091.2024.54.2.01

8. Kompleksnaya ornito-lihenologicheskaya ocenka sostoyaniya vozdušnogo bassejna g. Ryazani na baze kartografiche-skogo podhoda / E. S. Ivanov, A. V. Baranovskij, E. A. Blinova, M. V. Lenkov // *XXI vek. Tehnosfernaya bezopasnost*. 2016. Т. 1, № 2. S. 45–55.

9. Kashirina E. S., Medvedkov A. A., Novikov A. A. Ocenka sostoyaniya prizemnogo at-mosfernogo vozduha v yugo-zapadnom krymu po dannym lihenoindikacii // *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2022. Т. 333, № 8. S. 126–138.

10. Malyshkin N. G. Ocenka sostoyaniya atmosfernogo vozduha v rajone deyatelnosti promyshlennogo predpriyatiya metodom lihenoindikacii // *Uspehi sovremennogo estestvo-znaniya*. 2018. № 11 (ch. 2) S. 361–365. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36953>.

11. Segmentaciya obektov s funkciej doobucheniya / I. D. Nenahov, K. Artemov, S. Zabihifar, A. N. Semochkin, S. A. Kolyubin // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie*. 2022. Т. 65, № 3. S. 194–203.

12. Nikishina D. A., Taller E. B. Ocenka zagryazneniya atmosfernogo vozduha v zone vliyaniya kombinata «Kamenskij» metodom lihenoindikacii // *Vestnik nauki*. 2023. Т. 3, № 12 (69). S. 1263–1269.

13. Sionova N. A., Krivorotov S. B. Izmenenie proektivnogo pokrytiya epifitnyh lishajnikov v raznyh zonah urboekosistemy g. Krasnodara // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki*. 2008. № 2. S. 85–86.

14. Issledovanie svertochnyh nejronnyh setej dlya obnaru-zheniya obektov na aerokosmicheskikh snimkah / V. O. Skripachev, M. V. Gujda, N. V. Gujda, A. O. Zhukov // *International Journal of Open Information Technologies*. 2022. Т. 10, № 7. S. 54–64.

15. Slonov T. L. Lichenoindikaciya zagryaznennosti okruzhayushej sredy // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki*. 2010. № 2. S. 111–115.

16. Spisok lihenoflory Rossii. SPb., 2010. 194 s.

17. Curikov A. G., Hramchenkova O. M. Listovatyie i kustistyie gorodskie lishajniki: atlas-opredelitel. Gomel : GGU im. F. Skoriny, 2009. 123 s.

18. Shinov R. M. Kachestvennaya ocenka urovnya zagryaznennosti atmosfernogo vozduha ozera Shamsutdin gazoobraznymi i tverdymi pollyutantami // *Innovacionnaya nauka*. 2019. № 10. S. 7–8.

19. Brodo I. M. Transplanted experiments with corticolus lichens using a new technique // *Ecology*. 1961. Vol. 42. P. 838–841.

20. Detection, instance segmentation, and classification for astronomical surveys with deep learning (deepdisc): detectron2 implementation and demonstration with Hyper Suprime-Cam data / G. Merz, Y. Liu, C. J. Burke [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2023. Vol. 526, No. 1. P. 1122–1137.

© Адамович И. Ю., Сиваков В. В.,
Челак Д. В., 2026

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА С ОТКРЫТОЙ И ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВЫМИ СИСТЕМАМИ ПРИ СОЗДАНИИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

К. А. Башегуров, Л. А. Белов, И. С. Кочегаров, А. С. Оплетев, С. В. Залесов

Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37
E-mail: zalesovsv@m.usfeu.ru

Аннотация. По результатам обследования 30 участков в различных районах Курганской области проанализированы приживаемость и сохранность лесных культур, созданных посадочным материалом сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с открытой (ОКС) и закрытой (ЗКС) корневыми системами.

В основу исследований положен метод пробных площадей. В результате исследований установлено отсутствие статистически достоверных различий между лесными культурами, созданными посадочным материалом с ОКС и ЗКС.

Основной причиной низкой сохранности лесных культур является повреждение их в зимний период косяками. На приживаемость лесных культур косяки влияния не оказывают, однако зафиксированы случаи склевывания верхушечной почки глухарями.

Основными причинами низкой приживаемости сеянцев с ЗКС является нарушение технологии создания лесных культур и загущение их травянистой растительностью.

В целях повышения эффективности лесокультурного производства рекомендуется регулирование численности косяки, строгое соблюдение технологии создания лесных культур, использование качественного посадочного материала, увеличение густоты посадки до 4,0 тыс. шт./га и подготовка почвы весной, непосредственно перед посадкой сеянцев.

Ключевые слова: Курганская область, лесные культуры, сеянцы с открытой и закрытой корневыми системами, приживаемость, сохранность.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 34–40

EFFICIENCY OF USING OPEN- AND CLOSED-ROOT PLANTING MATERIAL BY CREATING FOREST CROPS IN THE KURGAN REGION

K. A. Bashegurov, L. A. Belov, I. S. Kochegarov, A. S. Opletaev, S. V. Zalesov

Ural State Forest Engineering University
37, Sibirsky Trakt St., 620100, Yekaterinburg, Russian Federation,
Corresponding author: Sergey Veniaminovich Zalesov; e-mail: zalesovsv@m.usfeu.ru

Abstract. Based on the results of a survey of 30 plots in various districts of the Kurgan Region, the survival rate and survival of forest crops created using open- and closed-root Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) planting material were analyzed.

The research was based on the sample plots method. The research revealed no statistically significant differences between forest crops created using open-root and closed-root planting material.

The main reason for the poor survival rate of forest crops is damage by roe deer during the winter. Roe deer do not affect the survival rate of forest crops, but there have been cases of wood grouse pecking at the apical buds.

The main reasons for the low survival rate of closed-root seedlings are improper development of forest crops and their smothering by herbaceous vegetation.

To improve the efficiency of forest crops, it is recommended to regulate roe deer populations, strictly adhere technology of forest crops development, use high-quality planting material, increase planting density to 4,000 plants per hectare, and prepare the soil in the spring, immediately before planting.

Keywords: Kurgan Region, forest crops, open-root and closed-root seedlings, survival rate, survival.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с действующим нормативным документом [Об утверждении ..., 2021] лесовосстанов-

ление осуществляется естественным, комбинированным и искусственным способами. Исследованиями уральских ученых установлено [Рекомендации ..., 2001],

что в лесостепной зоне оптимальным соотношением естественного и искусственного лесовосстановления является 25 к 75 %. При этом многие ученые отмечают, что искусственные насаждения превосходят естественные по производительности [Редько, 1984; Писаренко и др., 1992 а, б; Юсупов и др., 1999; Залесов и др., 2002; Фрейберг и др., 2012; Искусственное лесоразведение ..., 2014; Производительность ..., 2015; Осипенко, Залесов, 2015; Рост ..., 2015] и увеличение дали искусственного лесоразведения рассматривают как направление повышения продуктивности лесов [Побединский, 1977; Луганский и др., 1995; Залесов, 2000; Залесов, Луганский, 2002].

Выращивание искусственных насаждений требует наличия качественного районированного посадочного материала. Последний чаще всего выращивается в лесных питомниках и теплицах. Однако посадочный материал, выращенный в открытом грунте и в теплицах, имеет открытую корневую систему (ОКС), что обуславливает ряд недостатков. Прежде всего, посадочный материал с ОКС ограничивает сроки посадки. При больших объемах искусственного лесовосстановления, даже при механизированной посадке, возникают сложности в выполнении работ в оптимальные сроки.

С середины 20 столетия началось выращивание сеянцев и саженцев с закрытой корневой системой (ЗКС). Данное направление в последние годы получило широкое развитие. Однако точка зрения на создание лесных культур сеянцами с ЗКС не однозначна. Большинство авторов [Жигунов, 2012; Маслаков, Жигунов, 1994] отмечают высокую эффективность создания лесных культур сеянцами с ЗКС, что обусловило снижение густоты посадки из-за высоких показателей приживаемости до 2,0 тыс. шт./га [Об утверждении ..., 2021]. Основным преимуществом посадочного материала с ЗКС является возможность создания лесных культур в течение всего периода с оттаявшей почвой. Кроме того, при выращивании сеянцев с ЗКС сокращается расход семян, упрощается оптимизация внесения минеральных удобрений, защита сеянцев от вредителей и болезней и т. д.

В то же время преимущества сеянцев с ЗКС не очевидны. В лесостепной зоне приживаемость сеянцев с ЗКС нередко ниже таковой у сеянцев с ОКС в связи с пересыханием верхнего слоя почвы [Использование ..., 2016; Опыт ..., 2019; Гоф и др., 2019]. Поскольку в Курганской области использование сеянцев с ЗКС было начато только в 2022 г. возникла необходимость оценки эффективности использования сеянцев с ОКС и ЗКС при лесовосстановлении.

Цель работы – анализ сохранности и приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с ОКС и ЗКС при создании лесных культур в Курганской области и разработка предложений по совершенствованию лесокультурного производства.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований служили лесные культуры сосны обыкновенной, созданные в 2023–2025 гг. сеянцами с ОКС и ЗКС в Курганской области. Указан-

ная область характеризуется континентальным климатом с недостаточным увлажнением и периодическими засухами. Отличительной особенностью климата является неустойчивость в многолетнем цикле. Засушливые периоды сменяются годами с пониженными летними температурами и повышенным увлажнением. Для области характерно наличие позднеосенних и раннеосенних заморозков. Значение гидротермического коэффициента по отдельным районам области колеблется от 0,8 до 1,2. Количество осадков, при среднем значении 400 мм в год, уменьшается с севера на юг и с запада на восток. В отдельные годы сумма осадков за период вегетации не превышает 75 мм.

Почвы области приурочены к рельефу местности. На приречных хорошо дренированных склонах располагаются однородные по сочетанию массивы черноземов, а вдали от рек на водоразделах черноземы находятся в комплексе с солонцеватыми и осолодевшими почвами, степень участия которых нередко достигает 40–50 %. По механическому составу почвы суглинистые и глинистые. Почвы легкого механического состава встречаются под сосновыми борами и представлены преимущественно серыми лесными оподзоленными и дерново-подзолистыми.

В основу исследований положен метод пробных площадей (ПП), которые закладывались с учетом требований апробированных методик [Огиевский, Хиров, 1964; Об утверждении ..., 2021; Данчева и др., 2023]. На каждой ПП устанавливалась сохранность или приживаемость. Под приживаемостью нами понималось выраженное в процентах количество сохранившихся жизнеспособных экземпляров лесных культур в год их создания. При периоде с момента посадки более 1 года устанавливалась сохранность.

Места для закладки ПП подбирались в лесных культурах, созданных сеянцами с ОКС и ЗКС в близких лесорастительных условиях, что позволяло выполнить объективный анализ эффективности их выращивания. Помимо установления показателей приживаемости (сохранности) на каждой из ПП устанавливалась средняя высота лесных культур и прирост центрального побега за последний год. Для установления указанных показателей отмерялось по 30 экземпляров жизнеспособных сеянцев с последующим установлением средних значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установление сохранности лесных культур было выполнено с 16.06.2025 по 20.06.2025 г. в лесных культурах, созданных с 2022–2024 гг. Исследования показали, что на всех ПП весной следующего года после создания лесных культур было выполнено дополнение. При этом дополнение лесных культур, созданных сеянцами с ЗКС, было выполнено сеянцами с ОКС, что исключает возможность установления точных показателей сохранности при использовании сеянцев с ЗКС (табл. 1).

Все пробные площади заложены в лесных культурах, созданных при частичной обработке почвы путем прокладки борозд плугом ПКЛ-70.

Таблица 1

Сохранность лесных культур сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ОКС и ЗКС

№ ПП	Схема посадки		Густота посадки, тыс. шт./га	Год посадки	Вид посадочного материала	Сохранность, %		
	ширина междурядья, м	шаг посадки, м				средняя	ошибка среднего	коэффициент вариации
1	3	1,66	2,0	2024	ЗКС	92,13	12,7	36,47
2	3	0,83	4,0	2024	ОКС	70,19	5,94	22,42
3	3	1,66	2,0	2024	ЗКС	94,38	6,71	18,81
4	3	0,83	4,0	2024	ОКС	77,61	5,62	25,08
5	3	1,66	2,0	2024	ЗКС	72,92	7,05	36,18
6	3	0,83	4,0	2024	ОКС	58,33	5,34	27,46
7	3	1,66	2,0	2024	ЗКС	94,99	9,81	31,00
8	3	0,83	4,0	2023	ОКС	52,22	4,87	32,31
9	3	1,66	2,0	2022	ЗКС	63,82	7,05	33,19
10	3	0,83	4,0	2022	ОКС	36,11	5,48	42,97

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что если в лесных культурах 2024 г. сохранность лесных культур варьируется от 52,29 до 94,99 %, то в культурах 2022 г. от 36,11 до 63,82. Основной причиной низкой сохранности лесных культур является объедание их косулей. В результате вместо одного побега у жизнеспособных экземпляров формируется несколько стволиков (рис. 1).

В связи с тем, что в лесных культурах производилось дополнение средний прирост центрального побега за 2025 г. существенно варьируется, а данные так же, как и показатели сохранности, нельзя считать полностью отражающими ситуацию (табл. 2).



Рис. 1. Сеянец в лесных культурах, поврежденный косулей

Закладка двух ПП в лесных культурах Глядинского лесничества, созданных сеянцами с ЗКС в 2022 г. показала, что сохранность их составляет 23,93 и 41,11 %. При густоте посадки 2,0 тыс. шт./га указанное свидетельствует, что данные лесные культуры в перспективе не могут быть переведены в покрытые лесной растительностью земли, поскольку их густота на момент обследования составляет 478 и 822 шт./га.

В лесных культурах, созданных весной 2024 г. сеянцами с ОКС без дополнения, сохранность лесных культур составила 76,10 %, что при густоте посадки 5,0 тыс. шт./га обеспечило густоту 3805 шт./га. Естественно, что повреждения лесных культур косулями будут и в будущие годы. Однако вероятность перевода лесных культур в покрытые лесом земли при использовании сеянцев с ОКС будет выше из-за более высокой густоты посадки.

Как следует из табл. 2, различие в среднем приросте центрального побега между лесными культурами, созданными с ОКС и ЗКС, не позволяют установить четкую закономерность.

Приживаемость лесных культур 2025 г. устанавливалась с 4.09.2025 по 12.09.2025 гг. Поскольку косули не повреждают лесные культуры в летний период можно констатировать, что приживаемость будет более объективным показателем сравнительной оценки сеянцев с открытой и закрытой корневыми системами. Данные о приживаемости лесных культур, созданных весной 2025 г., приведены в таблице 3.

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что приживаемость лесных культур, созданных сеянцами с ЗКС, варьируется от 20,28 до 88,72 %. Другими словами, из девяти заложенных ПП на одной лесные культуры подлежат списанию, а на двух не требуют дополнения.

Низкая приживаемость сеянцев с ЗКС объясняется использованием меча Колесова обычной конструкции при посадке (ПП-15 и 17). Кроме того, зафиксированы случаи склевывания верхушечной почки глухарями и заглушение высаженных растений травянистой растительностью. Особо следует ответить, что приживаемость сеянцев с ЗКС увеличивается на участках, где подготовка почвы проводилась весной непосредственно перед посадкой.

Приживаемость сеянцев с ОКС варьируются от 34,15 до 74,74 %, что свидетельствует о необходимости дополнения на всех обследованных участках. При этом необходимо учитывать, что даже на ПП-11, где приживаемость составляет 34,15 % на момент исследования зафиксировано 2227 шт./га жизнеспособных сеянцев. Другими словами, густота сохранившихся экземпляров превышает таковую при посадке сеянцев с ЗКС.

Таблица 2

Различия средних приростов центральных побегов за 2025 г. сеянцев с ОКС и ЗКС в лесных культурах сосны обыкновенной на ПП

№ ПП	Вид посадочного материала	Средний прирост, см	Ошибка среднего, см	Коэффициент вариации, %	t-факт*	Достоверность различий
3	ЗКС	4,0	0,71	35,35	13,58	Да
4	ОКС	14,17	1,14	31,30		
5	ЗКС	12,10	1,38	44,18		
6	ОКС	8,83	0,91	39,83	1,98	Нет
7	ЗКС	10,17	1,20	45,78	0,24	Нет
8	ОКС	10,53	0,88	32,50		
9	ЗКС	19,43	1,01	20,11		
10	ОКС	25,70	1,53	23,20	3,40	Да

* $t_{\text{табл.}} - 2,04$.

Таблица 3

Приживаемость лесных культур 2025 г. создания сеянцами с ОКС и ЗКС в Курганской области

№ ПП	Тип леса ⁺	ТЛУ ⁺⁺	Сезон и год обработки поч-вы	Характеристика лесных культур			
				Способ по-садки	Шаг посад-ки, м	Ширина междуря-дий, м	Приживае-мость, %
Лесные культуры, созданные сеянцами с ЗКС							
15	С.кр.тр.	С ₃	Осень 2024	Ручная	1,40	2,00	20,28
17	С.тр.	В ₃	Осень 2024	Ручная	1,60	3,00	46,00
26	С.тр.	В ₃	Осень 2024	Ручная	1,24	3,75	83,70
19	С.тр.	В ₃	Осень 2024	Ручная	1,40	3,00	53,78
21	С.яг.	А ₂	Осень 2024	Ручная	1,20	4,00	72,48
23	С.тр.	В ₃	Весна 2025	Ручная	1,40	3,57	85,00
25	С.яг.	А ₂	Весна 2025	Ручная	1,36	2,86	88,72
27	С.яг.	А ₂	Весна 2025	Ручная	1,60	2,50	80,40
30	С.тр.	А ₃	Весна 2025	Ручная	1,40	2,50	58,80
Лесные культуры, созданные сеянцами с ОКС							
11	С.тр.	А ₃	Осень 2024	Ручная	0,75	2,00	34,15
16	С.яг.	А ₂	Осень 2024	Ручная	0,80	1,87	61,90
18	С.тр.	А ₃	Осень 2024	Ручная	0,80	2,78	63,24
20	С.тр.	В ₃	Осень 2024	Ручная	0,80	2,78	50,00
22	С.яг.	А ₂	Осень 2024	Ручная	0,80	3,83	68,93
14	С.тр.	В ₃	Осень 2024	Механ.	0,80	2,00	39,07
24	С.яг.	А ₂	Весна 2025	Ручная	0,60	4,00	35,28
28	С.змяг.	А ₂	Весна 2025	Ручная	0,80	2,86	74,74

⁺ С.кр.тр. – сосняк крупнотравно-травяной; С.тр. – сосняк травяной; С.яг. – Сосняк ягодниковый, С.з.яг. – сосняк зеленомошно-ягодниковый.

⁺⁺ ТЛУ – тип лесорастительных условий.

Для определения достоверности различий показателей приживаемости лесных культур, созданных сеянцами с ОКС и ЗКС, нами был использован статистический U-критерий Манна–Уитни.

Результаты статистического анализа показали, что при обработке почвы весной непосредственно перед посадкой лесные культуры сеянцами с ЗКС они превосходят таковые, созданные при осенней подготовке почвы, по показателю приживаемости (U-критерий = 455, при p-Value-0,000011) (рис. 2).

Оценка приживаемости сеянцев с ЗКС, высаженных под лесопосадочный штамп и меч Колесове выполнена на рис. 3.

Материалы рис. 3 свидетельствуют, что средние и медианные значения показателей приживаемости достоверно различаются. Последнее подтверждается ста-

тистическими показателями (U – критерий = 2,85, при p-value-0,0023).

Особый интерес представляют данные сравнения приживаемости лесных культур, созданных сеянцами с ОКС и ЗКС. Наши исследования показали (рис. 4), что достоверные различия в приживаемости отсутствуют. Другими словами, приживаемость сеянцев с ЗКС статистически не отличается от таковой при высаживании сеянцев с ОКС.

К аналогичному выводу пришла К. А. Мушкина [2024], исследуя различные технологии создания лесных культур в Удмуртской Республике. По ее данным сеянцы ели с ЗКС не имеют преимуществ над таковыми с ОКС как по приживаемости, так и дальнейшему росту. При этом увеличивается масса посадочного материала, усложняется его транспортировка и разнос по территории восстанавливаемой площади.

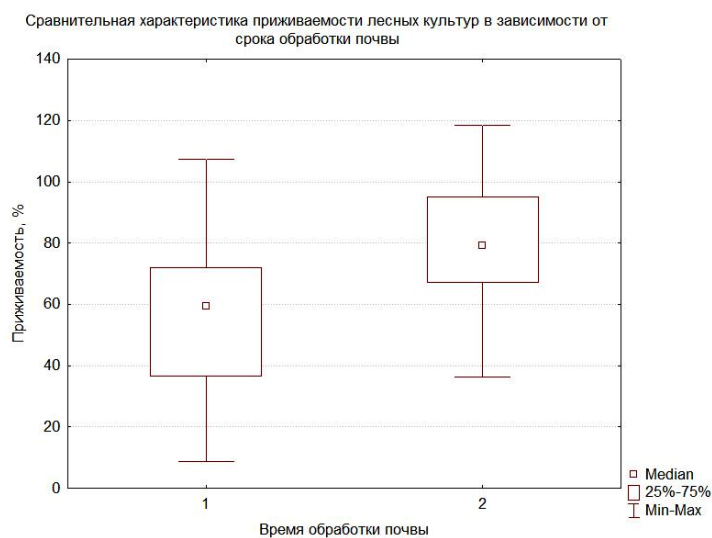


Рис. 2. Медианная приживаемость лесных культур, созданных сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС при разных периодах подготовки почвы:

1 – осенью; 2 – весной непосредственно перед посадкой

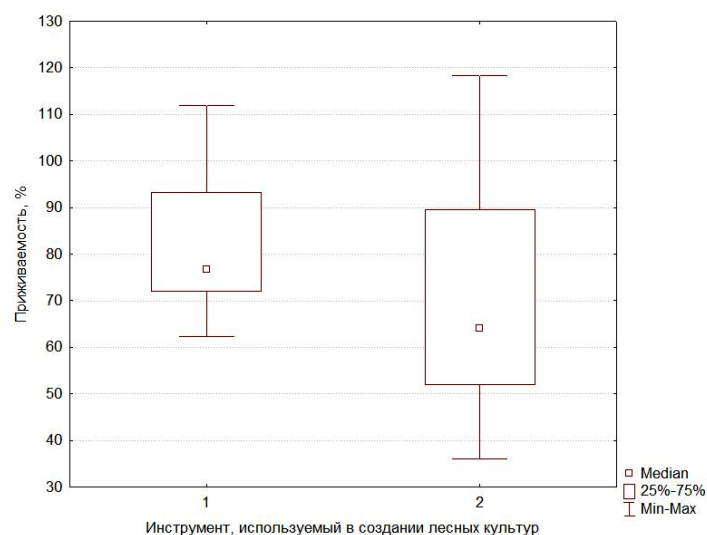


Рис. 3. Приживаемость сеянцев с ЗКС, посаженных с использованием:

1 – лесопосадочного типа; 2 – меча Колесова

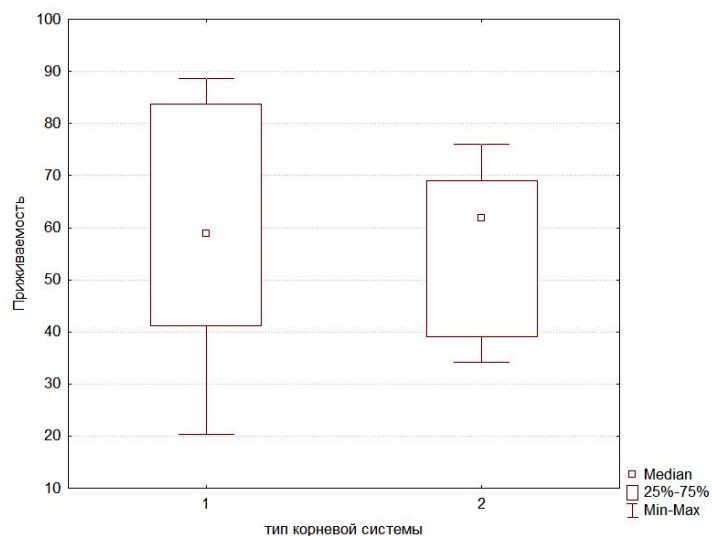


Рис. 4. Средние показатели приживаемости лесных культур сосны обыкновенной, созданных сеянцами:

1 – с закрытой корневой системой; 2 – с открытой корневой системой

Особо следует отметить, что при отсутствии статистически достоверных различий в приживаемости лесных культур, даже при исключении повреждения их дикими копытными животными, при использовании семян с ЗКС будут формироваться редкостойные насаждения низкой производительности. Следовательно, густота посадки 2,0 тыс. шт./га в условиях Курганской области недостаточна при создании лесных культур.

ВЫВОДЫ

1. При выращивании лесных культур важное значение имеет вид используемого посадочного материала.
2. Природные условия Курганской области являются жесткими для выращивания лесных культур, что объясняется высокими температурами, недостатком осадков и периодическими засухами.
3. Анализ сохранности лесных культур показал, что из-за сильного повреждения их в зимний период копытными животными, весной следующего года проводится дополнение как в лесных культурах, созданных с ЗКС, так и ОКС сеянцами с ОКС. В результате оценить сохранность лесных культур, созданных сеянцами с ЗКС, не представляется возможным.
4. Приживаемость сеянцев с ЗКС в условиях Курганской области варьируется от 20,28 до 88,72 %, а сеянцами с ОКС от 34,15 до 74,74 %.
5. Установлено статистически достоверное увеличение приживаемости сеянцев с ЗКС при посадке их под посадочный шип в сравнении с посадкой под меч Колесова и при подготовке почвы весной перед посадкой по сравнению с подготовкой почвы осенью.
6. Установлено отсутствие статистически достоверного различия в приживаемости сеянцев с ОКС и ЗКС.
7. В целях эффективности лесокультурного производства можно рекомендовать регулирование численности диких копытных животных, неуклонное соблюдение технологии создания лесных культур, подготовку почвы весной непосредственно перед созданием лесных культур и увеличение густоты посадки до 4–4,5 тыс. шт./га.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. 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. С. 9–13.
2. Данчева А. В., Залесов С. В., Попов А. С. Лесной экологический мониторинг. Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. 146 с.
3. Жигунов А. В. Использование посадочного материала с закрытой корневой системой при рекультивации земель // *Влияние нефтегазового комплекса на лесообразовательные процессы в районах Западной Сибири*. Сургут : РИИЦ «Нефть Приобья» ОАО «Сургутнефтегаз», 2012. С. 65–67.
4. Залесов С. В. Научное обоснование системы лесоводственных мероприятий по повышению продуктивности сосновых лесов Урала : дис. ... д-ра с.-х. наук (06.03.03 – Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними). Екатеринбург, 2000. 435 с.
5. Залесов С. В., Лобанов А. Н., Луганский Н. А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 112 с.
6. Залесов С. В., Луганский Н. А. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 331 с.
7. 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/118-13438/
8. Использование посадочного материала с закрытой корневой системой в степной зоне / Е. М. Ананьев, Б. О. Азбаев, Ж. О. Суюндиков [и др.] // *Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр.* Вып. 46. Брянск : БГИТУ, 2016. С. 60–63.
9. Луганский Н. А., Залесов С. В., Щавровский В. А. Повышение продуктивности лесов. Екатеринбург : Урал. лесотехн. ин-т, 1995. 297 с.
10. Мислаков Е. Л., Жигунов А. В. Посадочный материал с закрытой корневой системой для создания лесных культур сосны в различных регионах России // *Лесохозяйственная информация*. 1994. № 4. С. 29–30.
11. Мушкина К. А. Лесоводственная оценка различных технологий создания лесных культур в Удмуртской Республике // *Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока*. Хабаровск : Изд-во ДальНИИЛХ, 2024. С. 176–179.
12. 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.
13. Огиевский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур : метод. пособие для лесоводов. М. : Лесн. пром-сть, 1964. 51 с.
14. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гарях Алтайского края / А. А. Гоф, Е. В. Жигулин, С. В. Залесов [и др.] // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019. № 12-2 (90). С. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.073>
15. Осипенко А. Е., Залесов С. В. Запас искусственных сосновых древостоев в аридных условиях // *Современные проблемы науки и образования*, 2015. № 1. URL: www.science-education.ru/121-18520
16. Писаренко А. И., Редько Г. И., Мерзленко М. Д. Искусственные леса. Ч. 1. М. : Изд-во ЮНИФИР совместно с ВНИИЦлесресурс, 1992 а. 308 с.
17. Писаренко А. И., Редько Г. И., Мерзленко М. Д. Искусственные леса. Ч. 2. М. : Изд-во ЮНИФИР совместно с ВНИИЦлесресурс, 1992 б. 240 с.
18. Побединский А. В. Повышение продуктивности лесов лесоводственными методами // *Повышение продуктивности лесов лесоводственными приемами*. М., 1977. С. 3–24.
19. Производительность искусственных насаждений в северо-лесостепном лесорастительном округе Свердловской области / С. В. Залесов, А. С. Оплетев, Е. С. Залесова [и др.] // *Вестник Алтайского гос. аграр. ун-та*. 2015. № 11 (133). С. 65–70.

20. Редько Г. И. Мендуловская лиственничная роща. Л., 1984. 94 с.

21. Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале / В. Н. Данилик, Р. И. Исаева, Г. Г. Терехов [и др.]. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2001. 117 с.

22. Рост лиственничных древостоев на бывших пашнях / С. В. Залесов, Е. В. Юровских, Л. А. Белов [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2015. № 5 (135). С. 50–54.

23. 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.

24. Юсупов И. А., Луганский Н. А., Залесов С. В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях агропромвыбросов. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. акад. 1999. 185 с.

REFERENCES

1. Gof A. A., Zhigulin E. V., Zalesov S. V. Prichiny nizkoj prizhivaemosti seyancev sosny obyknovnoy s zakrytoj kornevoj sistemoy v lentochnyh borah Altaya // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 2019. № 12. S. 9–13.

2. Dancheva A. V., Zalesov S. V., Popov A. S. Lesnoj ekologicheskij monitoring. Ekaterinburg : UGLTU, 2023. 146 s.

3. Zhigunov A. V. Ispol'zovanie posadochnogo materiala s zakrytoj kornevoj sistemoj pri rekul'tivacii zemel' // Vliyanie neftegazovogo kompleksa na lesoobrazovatel'nye processy v rajonah Zapadnoj Sibiri. Surgut : Reklamno-izdatel'skij informacionnyj centr «Neft' Priob'ya» OAO «Surgutneftegaz», 2012. S. 65–67.

4. Zalesov S. V. Nauchnoe obosnovanie sistemy lesovodstvennyh meropriyatij po po-vysheniyu produktivnosti sosnovykh lesov Urala : dis. ... d-ra s.-h. nauk (06.0.3.03 – Lesovedenie i lesovodstvo; lesnye pozhary i bor'ba s nimi). Ekaterinburg, 2000. 435 s.

5. Zalesov S. V., Lobanov A. N., Luganskij N. A. Rost i proizvoditel'nost' sosnyakov iskusstvennogo i estestvennogo proiskhozhdeniya. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2002. 112 s.

6. Zalesov S. V., Luganskij N. A. Povyshenie produktivnosti sosnovykh lesov Urala. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2002. 331 s.

7. Iskusstvennoe lesorazvedenie vokrug g. Astany / S. V. Zalesov, B. O. Azbaev, A. V. Dancheva [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 4. URL: www: science-education/118-13438/.

8. Ispol'zovanie posadochnogo materiala s zakrytoj kornevoj sistemoy v stepnoj zone / E. M. Anan'ev, B. O. Azbaev, Zh. O. Suyundikov [i dr.] // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa : sb. nauch. trudov. Vyp. 46. Bryansk: BGITU, 2016. S. 60–63.

9. Luganskij N. A., Zalesov S. V., Shchavrovskij V. A. Povyshenie produktivnosti lesov. Ekaterinburg : Ural. lesotekhn. in-t, 1995. 297 s.

10. Mislakov E. L., Zhigunov A. V. Posadochnyj material s zakrytoj kornevoj sistemoy dlya sozdaniya

lesnykh kul'tur sosny v razlichnykh regionah Rossii // lesoshoz'yajstvennaya informaciya. 1994. № 4. S. 29–30.

11. Mushkina K. A. Lesovodstvennaya ocenka razlichnykh tekhnologij sozdaniya lesnykh kul'tur v Udmurtskoj Respublike // Intensifikaciya ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesov Sibiri i Dal'nego Vostoka. Habarovsk : Izd-vo Dal'NIILH, 2024. S. 176–179.

12. Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovanij dlya otказа v ego soglasovanii, a takzhe trebovanij k formatu v elektronnoj forme proekta lesovosstanovleniya : Utv. Prikazom Minprirody Rossii ot 29.12.2021 g. № 1024.

13. Ogievskij V. V., Hiron A. A. Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur : metodicheskoe posobie dlya lesovodov. M. : Lesnaya promyshlennost', 1964. 51 s.

14. Opyt sozdaniya lesnykh kul'tur seyancami s zakrytoj kornevoj sistemoy na garyah Altajskogo kraja / A. A. Gof, E. V. Zhigulin, S. V. Zalesov [i dr.] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2019. № 12-2 (90). S. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.073>

15. Osipenko A. E., Zalesov S. V. Zapas iskusstvennykh sosnovykh drevostoev v aridnykh usloviyakh // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2015. № 1. URL: www.science-education.ru/121-18520.

16. Pisarenko A. I., Red'ko G. I., Merzlenko M. D. Iskusstvennye lesa. Chast' 1. M. : Izd-vo YuNIFIR sovместno s VNIIClesresurs, 1992 a. 308 s.

17. Pisarenko A. I., Red'ko G. I., Merzlenko M. D. Iskusstvennye lesa. Chast' 2. M. : Izd-vo YuNIFIR sovместno s VNIIClesresurs, 1992 b. 240 s.

18. Pobedinskij A. V. Povyshenie produktivnosti lesov lesovodstvennymi metodami // Povyshenie produktivnosti lesov lesovodstvennymi priemami. M., 1977. S. 3–24.

19. Proizvoditel'nost' iskusstvennykh nasazhdenij v severo-lesostepnom lesorasti-tel'nom okruge Sverdlovskoj oblasti / S. V. Zalesov, A. S. Opletaev, E. S. Zalesova [i dr.] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo uniersiteta. 2015. № 11 (133). S. 65–70.

20. Red'ko G. I. Mendulovskaya listvennichnaya roshcha. L., 1984. 94 s.

21. Rekomendacii po lesovosstanovleniyu i lesorazvedeniyu na Urale / V. N. Danilik, R. I. Isaeva, G. G. Terkhov [i dr.]. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2001. 117 s.

22. Rost listvennichnykh drevostoev na byvshih pashnyah / S. V. Zalesov, E. V. Yurovskih, L. A. Belov [i dr.] // Agrarnyj vestnik Urala. 2015. № 5 (135). S. 50–54.

23. Frejberg I. A., Zalesov S. V., Tolkach O. V. Opyt sozdaniya iskusstvennykh nasazhdenij v lesostepi Zaural'ya. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2012. 121 s.

24. Yusupov I. A., Luganskij N. A., Zalesov S. V. Sostoyanie iskusstvennykh sosnovykh molodnyakov v usloviyakh aeropromvybrosov. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. akad. 1999. 185 s.

© Башегуров К. А., Белов Л. А., Кочегаров И. С., Оплетев А. С., Залесов С. В., 2026

К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТВОЛА ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ НА ВЫСОТЕ ГРУДИ НА ПРИМЕРЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКОВ И КУЛЬТУР*

Н. И. Плюха^{1,2}, В. А. Усольцев^{1,3}, В. П. Часовских³

¹Уральский государственный лесотехнический университет
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

²Ботанический сад Уральского отделения РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а

³Уральский государственный экономический университет,
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45
E-mail: Usoltsev50@mail.ru

^{1,2}nikcskript@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>

^{1,3}Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

³u2007u@ya.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9454-9824>

Аннотация. В связи с изменением климата во всем мире проводятся интенсивные исследования биологической продуктивности и углерод депонирующей способности лесов. В данных исследованиях наибольшая доля трудозатрат приходится на определение квалитетрических показателей компонентов биомассы деревьев – плотности древесины и коры ствола, оцениваемой стереометрическим методом, и влажности или содержания сухого вещества в компонентах биомассы, оцениваемой весовым методом. Квалитетрические данные стволов деревьев оцениваются в связи с дендрометрическими показателями или в связи с квалитетрическими характеристиками ствола на высоте груди. Цель настоящего исследования состояла в анализе смещений квалитетрических показателей, рассчитанных по сокращенному количеству дисков и как среднеарифметических величин, относительно тех же показателей, рассчитанных по 10 дискам с учетом «веса» каждой секции ствола. Исследования проведены в бору Аман-Карагай в условиях сухой степи Тургайского прогиба, где в чистых сосновых насаждениях было заложено 37 пробных площадей, в том числе 23 – в культурах и 14 – в естественных сосняках, на которых было взято 300 модельных деревьев, в том числе 190 в культурах и 110 в естественных сосняках. В результате выполнен сравнительный анализ различных способов определения названных квалитетрических показателей для всего ствола по их измеренным значениям на его относительных высотах. При оценке квалитетрических показателей всего ствола по их локальным измерениям на дисках наиболее надежным является расчет средневзвешенных значений по 10 дискам, взятым на относительных высотах ствола. Оценка квалитетрических показателей как среднеарифметических значений локальных определений и как средневзвешенных по сокращенному количеству дисков (от 1 до 4) дает смещения, которые необходимо учитывать при упрощенных методах оценки средних квалитетрических показателей древесины и коры стволов.

Ключевые слова: содержание сухого вещества и базисная плотность древесины и коры, естественные сосняки и культуры, многофакторные модели.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 41–49

ON THE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITETRIC PARAMETERS OF THE TREE STEMS BY THEIR VALUES AT BREAST HEIGHT USING THE EXAMPLE OF NATURAL AND ARTIFICIAL *PINUS SYLVESTRIS***

N. I. Plyukha^{1,2}, V. A. Usoltsev^{1,3}, V. P. Chasovskikh³

¹Ural State Forest Engineering University,
Siberian tract, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

²Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202a, 8 Marta str., 620144, Yekaterinburg, Russian Federation

³Ural State University of Economics,
62/45, 8 Marta str./ Narodnaya Volya, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
E-mail: *Usoltsev50@mail.ru

* Работа выполнена в рамках тематики научных исследований Уральского государственного лесотехнического университета.

** The work was carried out within the framework of scientific research at the Ural State Forest Engineering University.

^{1,2}nikcskript@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>

^{1,3}Usoltsev50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

³i@u2007u.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9454-9824>

Abstract. Due to climate change, intensive research is being performed worldwide on the biological productivity and carbon deposition capacity of forests. In these studies, the largest share of labor is spent on determining the qualimetric parameters of the components of tree biomass – the density of wood and bark of stem, estimated by the stereometric method, and moisture or dry matter content in the components of biomass, estimated by the weight method. The qualimetric data of tree stems are evaluated in relation to dendrometric indicators or in relation to the qualimetric characteristics of the stem at breast height. The purpose of this study was to analyze the biases of qualimetric indicators calculated from a reduced number of discs and as arithmetic averages in comparison to the same indicators calculated from 10 discs, taking into account the “weight” of each section of the stem. The research was performed in the Aman-Karagai forest in the conditions of the dry steppe of the Turgai Depression, where 37 sample plots were established in pure pine forests, including 23 ones in plantations and 14 in natural stands, on which 300 model trees were taken, including 190 in plantations and 110 in natural stands. As a result, a comparative analysis of various methods for determining the qualimetric indicators for the entire stem was performed based on their measured values at its relative heights. When evaluating the qualimetric parameters of the entire stem based on their local measurements on disks, the most reliable result gives the weighted average values calculation for 10 disks taken at relative heights of the stem. Evaluating qualimetric indicators as the arithmetic mean of local definitions and as weighted averages for a reduced number of disks (from 1 to 4) gives the biases, that should be taken into account in simplified methods of estimating the average qualimetric parameters of wood and bark of the tree stem.

Keywords: dry matter content and density of wood and bark, natural pine forests and plantations, multifactorial models.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с изменением климата во всем мире проводятся интенсивные исследования биологической продуктивности и углерод депонирующей способности лесов. В данных исследованиях наибольшая доля трудозатрат приходится на определение квалиметрических показателей компонентов биомассы деревьев – плотности древесины и коры ствола, оцениваемой стереометрическим методом, и влажности или содержания сухого вещества в компонентах биомассы, оцениваемой весовым методом [3; 7; 8; 37; 45].

Из названных квалиметрических показателей наиболее востребована и изучена базисная плотность древесины, определяемая как отношение сухой массы к объему свежей древесины. Это фундаментальный функциональный показатель, который связан с депонированием углерода в лесной биомассе [19; 24; 25; 36; 41; 43], с функциональными характеристиками деревьев, включая механические и физиологические свойства, и зависит от породного состава и условий формирования насаждений [23; 30; 42]. Базисная плотность древесины играет важную роль в реализации конкурентоспособности древесных пород, а также в формировании состава, структуры и функций лесных экосистем [21; 33; 39; 46]. Она влияет на скорости отмирания деревьев и разложения древесины [22; 23; 40], которые играют важную роль в степени реакции деревьев на изменения окружающей среды. Выполненный глобальный анализ базисной плотности древесины около 11 тыс. древесных видов в географическом и экологическом аспектах способствует более глубокому пониманию территориального распределения надземной биомассы, а также влияния на лесные экосистемы изменений окружающей среды [32].

Оценка объема коры была всегда одной из приоритетных задач традиционной лесной таксации [9; 10; 13], и для использования имеющихся таблиц

в оценках биопродуктивности деревьев необходимы данные о базисной плотности коры стволов. В литературе имеются данные определения базисной плотности древесины и коры не только стволов [12; 14; 18; 19], но и ветвей [1; 15] и корней [31], а также влажности (или содержания сухого вещества) в различных фракциях биомассы деревьев [3; 5; 6; 29]. Квалиметрические данные стволов деревьев оцениваются в связи с дендрометрическими показателями [4; 12; 16; 19; 28; 34; 35; 38; 44; 47] или в связи с квалиметрическими характеристиками ствола на высоте груди [2; 12; 26].

В нашей предыдущей работе [11] был выполнен совмещенный регрессионный анализ зависимости средневзвешенных квалиметрических показателей стволов от соответствующих показателей, измеренных на высоте груди, и от такой дендрометрической характеристики дерева, как его высота. Квалиметрические показатели были рассчитаны по 10 сечениям ствола с учетом «веса» каждого из отрезков. Известно, что измерение квалиметрических показателей древесины и коры у 10 дисков каждого ствола довольно трудоемко в связи с необходимостью их обмера, сушки и двойного взвешивания [11]. Поэтому в литературе практиковалось взятие не 10, а трех дисков на относительных высотах 0,2; 0,5 и 0,8 от общей высоты ствола [16], без анализа возможных смещений оценок в результате названного сокращения числа дисков. Л. Н. Исаева [8] (1978) связывала плотность древесины ствола на высоте груди с общим для ствола показателем, рассчитанным как среднеарифметическая величина локальных значений, также без анализа возможных смещений по причине не учитываемого разного вклада секций ствола в общую оценку.

Целью настоящего исследования было: используя выше упомянутые исходные данные [11], выполнить анализ смещений квалиметрических показателей, рассчитанных по сокращенному количеству дисков и как

среднеарифметических величин, относительно тех же показателей, рассчитанных по 10 дискам с учетом «веса» каждой из 10 секций ствола.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в бору Аман-Карагай в условиях сухой степи Тургайского прогиба (53°10' с. ш., 64°00' в. д.), где в чистых сосновых насаждениях было заложено 37 пробных площадей, в том числе 23 – в культурах и 14 – в естественных сосняках, на которых было взято 300 модельных деревьев, в том числе 190 в культурах и 110 в естественных сосняках. Характеристика исходных данных показана в табл. 1.

За основу для сравнительного анализа приняты ранее использованные квалитметрические показатели древесины и коры, рассчитанные как средневзвешенные по 10 относительным высотам: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 и 0,9 от общей высоты дерева H (м), а также соответствующие показатели, измеренные на высоте груди [11].

По отношению к названным средневзвешенным квалитметрическим показателям, рассчитанным по 10

дискам, была выполнена оценка смещений соответствующих показателей, рассчитанных по четырем вариантам (при $i = 1 \dots 4$), а именно: (1) по 4 дискам, (2) по 3 дискам, (3) по 1 диску, и (4) показателей, полученных путем простого арифметического усреднения всех 10 локальных значений (по аналогии с методом Л. Н. Исаевой). Была составлена матрица фактических исходных данных согласно схеме фиктивных переменных [17; 27] (табл. 2).

За основу расчетов принята структура модели, разработанная ранее при оценке средневзвешенных квалитметрических показателей по значениям, полученным на высоте груди ствола [11]:

$$\ln Q = a_0 + a_1 \ln Q_{1,3} + a_2 (\ln Q_{1,3})^2 + a_3 \ln H + a_4 \ln D + a_5 (\ln Q_{1,3})(\ln H) + \Sigma_{bi} X_i, \quad (1)$$

где Q – квалитметрические показатели (Ss , Sb , ρs и ρb), рассчитанные по одному из 5 вариантов ($i = 0 \dots 4$) (табл. 2); $Q_{1,3}$ – квалитметрические показатели ствола на высоте груди ($Ss_{1,3}$; $Sb_{1,3}$; $\rho s_{1,3}$ и $\rho b_{1,3}$); $\Sigma_{bi} X_i$ – блок фиктивных переменных [17; 27].

Таблица 1
Характеристика исходных данных для расчета моделей

Показатель *	Естественные сосняки **				Культуры сосны **			
	M_m	$M_{\max}$	$M_{\min}$	$\pm \sigma$	M_m	$M_{\max}$	$M_{\min}$	$\pm \sigma$
H , м	8,5	26,1	1,4	5,7	6,9	16,2	1,6	3,3
D , см	7,3	34,5	0,3	6,8	6,8	21,7	0,4	4,1
$Ss_{1,3}$, %	50,2	65,2	36,8	5,8	44,6	68,3	30,7	6,8
Ss_{cp} , %	48,7	63,5	38,7	5,9	42,9	63,9	32,3	5,6
$Sb_{1,3}$, %	60,1	77,3	38,0	11,0	54,5	76,1	35,0	9,8
Sb_{cp} , %	52,1	67,5	36,9	6,1	49,0	64,5	37,3	5,7
$\rho s_{1,3}$, кг/м ³	436,8	577,7	341,0	48,5	377,8	492,4	289,2	32,6
ρs_{cp} , кг/м ³	421,8	571,5	336,2	51,7	370,9	460,8	305,1	34,8
$\rho b_{1,3}$, кг/м ³	309,5	567,4	190,9	84,8	283,9	495,5	158,6	62,4
ρb_{cp} , кг/м ³	327,6	533,2	220,9	61,3	294,6	406,0	225,1	40,1

Примечания:

* H – высота дерева; D – диаметр ствола на высоте груди; $Ss_{1,3}$, $Sb_{1,3}$, $\rho s_{1,3}$ и $\rho b_{1,3}$ – соответственно содержание сухого вещества в древесине, то же в коре, базисная плотность древесины, то же коры, на высоте груди; Ss_{cp} , Sb_{cp} , ρs_{cp} и ρb_{cp} – соответственно содержание сухого вещества в древесине, то же в коре, базисная плотность древесины, то же коры, средневзвешенные по 10 дискам;

** M_m , $M_{\max}$ и $M_{\min}$ – соответственно средние, максимальные и минимальные значения; σ – стандартные отклонения.

Таблица 2
Структурирование исходных данных в виде блока фиктивных переменных

X_i	Варианты исходных данных	X_1	X_2	X_3	X_4
X_0	Взвешенные по 10 дискам	0	0	0	0
X_1	Взвешенные по 4 дискам (0; 0,2; 0,5; 0,8 H)	1	0	0	0
X_2	Взвешенные по 3 дискам (0,2; 0,5; 0,8 H)	0	1	0	0
X_3	Значение для одного среднего диска (0,5 H)	0	0	1	0
X_4	Среднеарифметическое значение 10 дисков	0	0	0	1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика полученных моделей для каждой зависимой переменной приведена в табл. 3. Все приведенные в табл. 3 регрессионные коэффициенты при численных переменных $\ln H$, $\ln D$, $\ln Q_{1,3}$, $(\ln Q_{1,3})^2$ и $(\ln Q_{1,3})(\ln H)$ значимы на уровне вероятности $P < 0,05$. Полученные расчетом модели (1) действительны

в пределах изменчивости независимых переменных, показанных в табл. 1.

Судя по табл. 3, можно заключить, что содержание сухого вещества в древесине как естественных сосняков, так и культур, на статистически значимом уровне отличается от базовых показателей (при X_0) по всем 4 вариантам, обозначенным в табл. 2, как X_1 , X_2 , X_3

и X_4 . По остальным трем квалитетическим показателям статистическая значимость подтверждена лишь по двум вариантам, обозначенным в табл. 2 как X_3 и X_4 . Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что по отношению к базовым квалитетическим показателям, рассчитанным путем взвешивания по 10 дискам, наибольшими смещениями характеризуются показатели, рассчитанные по одному среднему сечению, и показатели, рассчитанные как среднеарифметические локальных значений. Наименьшие смещения свойственны средневзвешенным квалитетическим показателям, рассчитанным по 4 и 3 дискам (X_1 и X_2).

С целью получения количественных величин названных смещений модели (1) протабулированы по средним значениям независимых численных переменных, показанных в табл. 1. Результаты табулирования и рассчитанные по ним названные выше смещения показаны в табл. 4.

Согласно табл. 4 наименьшие смещения квалитетических показателей (от $-3,2$ до $1,2$ %) свойственны

вариантам X_1 и X_2 , где названные показатели оцениваются соответственно по 4 и 3 дискам, а также варианту X_4 (от $-2,2$ до $2,8$ %), где показатели рассчитаны как среднеарифметические локальных значений. Смещения по варианту X_3 существенно выше и колеблются от $-7,6$ до $9,2$ %. Причем, все названные выше смещения различаются в естественных сосняках и культурах и, по-видимому, будут отличаться от аналогичных показателей других древесных видов. Известно, что статистически значимые смещения не устраняются путем увеличения числа наблюдений, и, несмотря на их относительно небольшие величины, должны учитываться при упрощенных методах оценки средних квалитетических показателей древесины и коры стволов.

Соотношение фактических и расчетных значений квалитетических показателей по моделям (1) свидетельствует о наличии равномерных остаточных дисперсий и об отсутствии корреляции остатков (рис. 1 и 2).

Таблица 3
Характеристика моделей (1)

$\ln Q$	Естественные сосняки				Культуры сосны			
	$\ln S_s$	$\ln S_b$	$\ln p_s$	$\ln p_b$	$\ln S_s$	$\ln S_b$	$\ln p_s$	$\ln p_b$
a_0	2,7981	5,3631	17,6625	4,6126	2,6744	6,9352	-9,7805	7,2936
$a_1 \ln Q_{1,3}$	—	-1,9211	-4,4872	—	—	-2,6949	4,6311	-1,4659
$a_2 (\ln Q_{1,3})^2$	0,0728	0,4092	0,4255	0,0337	0,0800	0,5090	-0,3325	0,2039
$a_3 \ln H$	-0,5796	1,3212	0,0418	—	-0,5166	1,0888	—	0,9587
$a_4 \ln D$	-0,0715	-0,0286	-0,0990	-0,1694	-0,0384	-0,0329	-0,0448	-0,0725
$a_5 (\ln Q_{1,3})(\ln H)$	0,1584	-0,3649	—	0,0306	0,1350	-0,3191	—	-0,1423
X_1	-0,0228	0,0228	-0,0083	-0,0084	-0,0246	0,0009	-0,0139	-0,0321
X_2	0,0208	-0,0043	0,0084	0,0028	0,0140	0,0021	0,0033	0,0073
X_3	-0,0213	-0,1575	-0,0305	0,0721	-0,0306	-0,1725	-0,0395	0,0879
X_4	-0,0226	-0,0311	-0,0136	0,0279	-0,0212	-0,0459	-0,0142	0,0207
$\text{adj}R^2$	0,834	0,746	0,876	0,783	0,860	0,802	0,673	0,681
SE	0,052	0,071	0,046	0,092	0,048	0,061	0,044	0,084

Примечания. Свободный член моделей (a_0) скорректирован на логарифмическую трансформацию [20]; $\text{adj}R^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на количество переменных; SE – стандартная ошибка модели. Жирным шрифтом выделены регрессионные коэффициенты при фиктивных переменных, соответствующих вариантам квалитетических показателей (X_1 и X_2) (табл. 2), которые на статистически значимом уровне (P_{05}) не отличаются от базовых значений, вычисленных как средневзвешенные по 10 дискам.

Таблица 4
Результаты табулирования моделей (1) по средним значениям независимых переменных и рассчитанные по ним смещения квалитетических показателей четырех упрощенных вариантов по отношению к базовому

X_i	S_s		S_b		p_s		p_b	
	%	$\Delta\%$	%	$\Delta\%$	кг/м ³	$\Delta\%$	кг/м ³	$\Delta\%$
Естественные сосняки								
X_0	47,4	—	51,0	—	404,2	—	317,3	—
X_1	46,4	-1,0	52,2	1,2	400,8	-0,8	314,6	-0,8
X_2	48,4	1,0	50,8	-0,4	407,6	0,8	318,2	0,3
X_3	46,4	-1,0	43,6	-7,4	392,0	-3,0	341,0	7,5
X_4	46,4	-1,0	49,4	-1,6	398,7	-1,4	326,3	2,8
Культуры сосны								
X_0	42,4	—	48,1	—	367,5	—	292,8	—
X_1	41,4	-1,0	48,1	0	362,4	-1,4	283,5	-3,2
X_2	43,0	0,6	48,2	0,1	368,7	0,3	294,9	0,7
X_3	41,1	-1,3	40,5	-7,6	353,3	-3,9	319,6	9,2
X_4	41,5	-0,9	45,9	-2,2	362,3	-1,4	298,9	2,1

Примечание. Δ – смещение показателей вариантов $X_1 \dots X_4$ относительно базового X_0 .

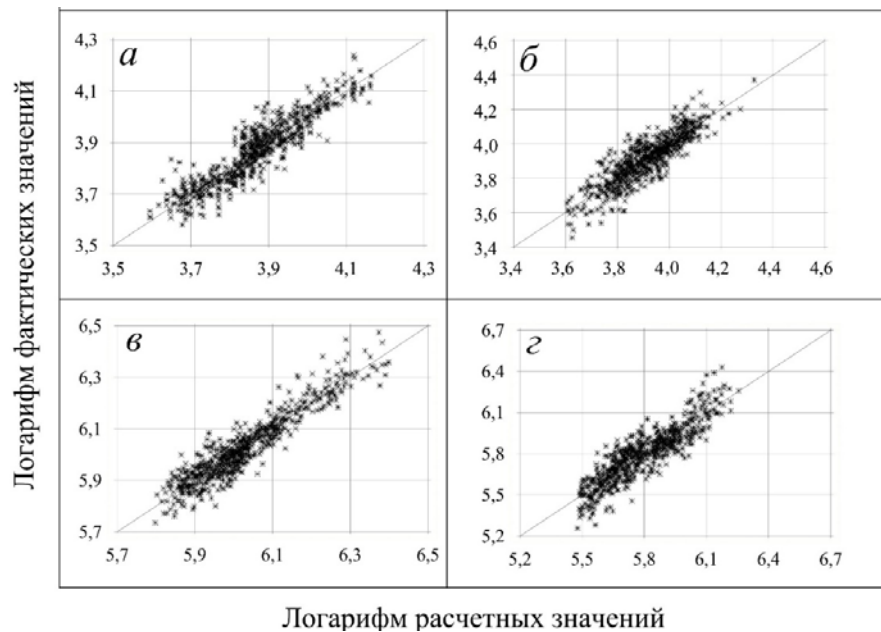


Рис. 1. Соотношение фактических и расчетных значений квалитетрических показателей по моделям (1) для естественных сосняков. Здесь и далее: *a*, *б*, *в* и *г* – соответственно *Ss*, *Sb*, *ps* и *pb*

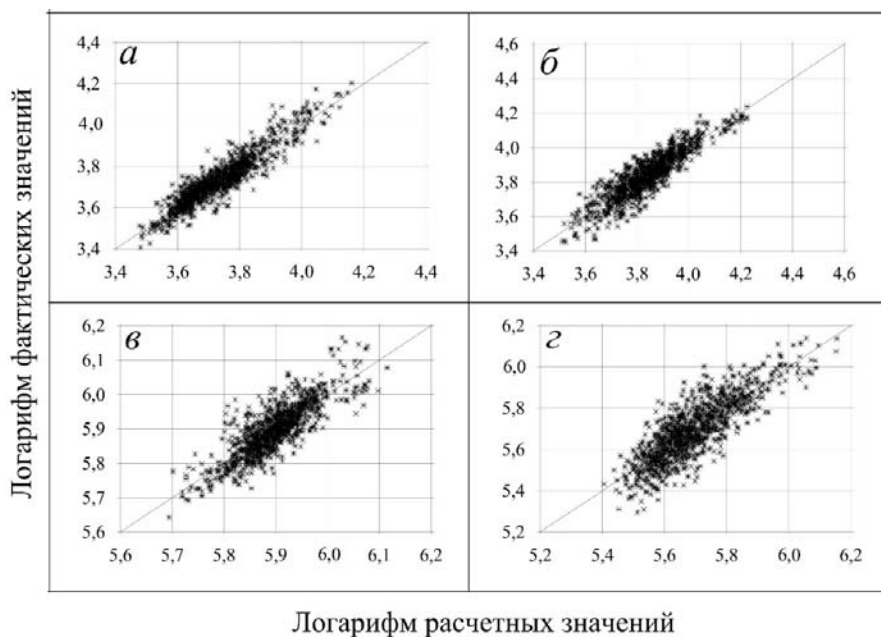


Рис. 2. Соотношение фактических и расчетных значений квалитетрических показателей по моделям (1) для культур сосны

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по фактическим данным содержания сухого вещества в древесине и коре и базисной плотности древесины и коры в естественных сосняках (110 модельных деревьев) и культурах (190 модельных деревьев) Тургайского прогиба выполнен сравнительный анализ различных способов определения названных квалитетрических показателей для всего ствола по их измеренным значениям на его относительных высотах.

Установлены смещения квалитетрических показателей, рассчитанных по сокращенному количеству дисков и как среднеарифметических величин, относительно тех же показателей, рассчитанных по 10 дис-

кам с учетом «веса» каждой секции ствола. При этом величины смещений у деревьев естественных насаждений и культур различаются.

При оценке квалитетрических показателей всего ствола по их локальным измерениям на дисках наиболее надежным является расчет средневзвешенных значений по 10 дискам, взятым на относительных высотах ствола. Оценка квалитетрических показателей как среднеарифметических значений локальных определений и как средневзвешенных по сокращенному количеству дисков (от 1 до 4) дает смещения, которые должны учитываться при упрощенных методах оценки средних квалитетрических показателей древесины и коры стволов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Голиков В. В. Плотность коры ветвей светловых пород Сибири // Лиственница и ее использование в народном хозяйстве. Красноярск : СибТИ, 1982. С. 23–25.
- Данилов Д. А., Тюрин Д. С., Зайцев Д. А. Плотность древесины сосны в плантационных насаждениях, выращиваемых по интенсивной технологии в Ленинградской области // Столяровские чтения : сб. материалов науч.-практ. конф. СПб. : СПбНИИЛХ, 2023. С. 21–24.
- Данилов М. Д. Изменение веса и влажности хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в связи с собственным возрастом и возрастом дерева // Доклады Академии наук СССР. 1948. Т. 59. № 8. С. 1487–1490.
- Демаков Ю. П., Шарапов Е. С., Королев А. С. и др. Плотность заболонной древесины сосны обыкновенной в лесах Марийского Заволжья // Лесоведение. 2025. № 1. С. 15–27.
- Исаева Л. Н. Особенности распределения влаги в различных частях древесины стволов кедра сибирского // Труды Ин-та леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 77–82.
- Исаева Л. Н. Распределение влажности в стволах растущих деревьев основных пород Восточной Сибири // Свойства древесины, ее защита и новые древесные материалы. М. : Наука, 1966. С. 3–10.
- Исаева Л. Н. Влажность древесины растущих деревьев в различных районах произрастания // Древесина и древесные материалы. Красноярск : ИЛиД СО РАН, 1974. С. 18–28.
- Исаева Л. Н. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // Лесоведение. 1978. № 4. С. 90–94.
- Крюденер А. А. Массовые таблицы и таблицы сбега осины Европейской России. Вып. 4. СПб. : Типография Санкт-Петербургского управления уделов, 1911. 86 с.
- Нахабцев И. А. Таксация древесной коры. Методические указания и таблицы процентов коры к самостоятельной работе студентов. Л. : ЛЛТА, 1990. 36 с.
- Плюха Н. И., Усольцев В. А., Часовских В. П. Оценка средневзвешенных квалитетических показателей ствола по их значениям на высоте груди в естественных сосняках и культурах // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. 43. № 6. С. 47–57.
- Полубояринов О. И. Плотность древесины. М. : Лесная пром-сть, 1976. 160 с.
- Пчелинцев В. И. Таксация коры лиственницы // Лиственница и ее комплексная переработка. Красноярск : СибТИ, 1987. С. 9–14.
- Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 253 с.
- Усольцев В. А., Передерий О. Н., Прохоров Ю. А. Квалитетия ветвей в сосняках Аман-Карагайского бора // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1985. № 7. С. 74–78.
- Усольцев В. А., Воробейчик Е. Л., Бергман И. Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. 365 с.
- Усольцев В. А., Колчин К. В., Воронов М. П. Фиктивные переменные и смещения всеобщих аллометрических моделей при локальной оценке фитомассы деревьев (на примере *Picea* L.) // Эко-потенциал. 2017. № 1 (17). С. 22–39. URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6502/1/eko-17-02.pdf>.
- Усольцев В. А., Цепордей И. С. Географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии // Сибирский лесной журнал. 2022. № 3. С. 59–68.
- Успенский В. В. Изменчивость плотности древесины сосны и ее использование в весовой таксации // Известия вузов. Лесной журнал. 1980. № 6. С. 9–12.
- Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2 (1). P. 49–53.
- Bouchard E., Searle E., Drapeau P. et al. Global patterns and environmental drivers of forest functional composition // Global Ecology and Biogeography. 2024. Vol. 33. P. 303–324.
- Ceornea C., Drăgoi M. A new metrics to manage the deadwood in forest stewardship council certified forests // Forestist. 2025. Vol. 75. Article 0040.
- Chave J., Coomes D., Jansen S. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum // Ecology Letters. 2009. Vol. 12. P. 351–366.
- Chave J., Muller-Landau H. C., Baker T. R. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species // Ecological Applications. 2006. Vol. 16. № 6. P. 2356–2367.
- Chowdhury M. Q., Sarker S. K., Ali M. B. et al. Accounting intra-tree radial wood density variation estimates more accurate above ground mangrove biomass in the Sundarbans // European Journal of Forest Research. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10342-025-01784-3>
- Fedyukov V. I., Musikhina L. A., Chernova M. S. et al. A non-destructive prediction method for the wood density variations of silver birch trees growing in the Middle Volga region, Russia // South-East European Forestry. 2020. Vol. 11(1). P. 85–90.
- Fu L.Y., Zeng W. S., Tang S. Z. et al. Using linear mixed model and dummy variable model approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China // Journal of Forest Science. 2012. Vol. 58. No. 3. P. 101–115.
- Giagli K., Vavrcík H., Fajstavr M. et al. Stand factors affecting the wood density of naturally regenerated young silver birch growing at the lower altitude of the Czech Republic region // Wood Research. 2019. Vol. 64. P. 1011–1022.
- Glass S. V., Zelinka S. L. Moisture relations and physical properties of wood // Wood handbook: wood as an engineering material. Chapter 4. Centennial Edition. General technical report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. P. 4.1–4.19.

30. Kraft N. J. B., Metz M. R., Condit R. S. et al. The relationship between wood density and mortality in a global tropical forest data set // *New Phytologist*. 2010. Vol. 188. P. 1124–1136.
31. Liepinš K., Liepinš J., Ivanovs J. et al. Variation in the basic density of the tree components of gray alder and common alder // *Forests*. 2023. Vol. 14. Article 135.
32. Mo L., Crowther T. W., Maynard D. S. et al. The global distribution and drivers of wood density and their impact on forest carbon stocks // *Nature Ecology and Evolution*. 2024. Vol. 8(12). P. 2195–2212.
33. Pérez-Ramos I. M., Matías L., Gómez-Aparicio L. et al. Functional traits and phenotypic plasticity modulate species coexistence across contrasting climatic conditions // *Nature Communications*. 2019. Vol. 10. Article 2555.
34. Petráš R., Mecko J., Krupova D. et al. Aboveground biomass basic density of softwoods tree species // *Wood Research*. 2019. Vol. 64(2). P. 205–212.
35. Petráš R., Mecko J., Krupova D. et al. Aboveground biomass basic density of hardwoods tree species // *Wood Research*. 2020. Vol. 65(6). P. 1001–1012.
36. Poorter L., Rozendaal D. M. A., Bongers F. et al. Wet and dry tropical forests show opposite successional pathways in wood density but converge over time // *Nature Ecology and Evolution*. 2019. Vol. 3. P. 928–934.
37. Portal-Cahuana L. A., Piña E. A. G., Tuesta G. P. et al. Radial variation of wood density and fiber morphology of two commercial species in a tropical humid forest in southeastern Peru // *CERNE*. 2023. Vol. 29. Article e-103143.
38. Que Q., Ouyang K., Li C. et al. Geographic variation in growth and wood traits of *Neolamarckia cadamba* in China // *Forestry Research*. 2022. Vol. 2. Article 12.
39. Reich P. B., Wright I. J., Cavender-Bares J. et al. The evolution of plant functional variation: traits, spectra and strategies // *International Journal of Plant Sciences*. 2003. Vol. 164. P. S143–S164.
40. Reis S. M., Marimon B. S., Muelbert A. E. et al. Climate and crown damage drive tree mortality in southern Amazonian edge forests // *Journal of Ecology*. 2022. Vol. 110. P. 876–888.
41. Saatchi S. S., Harris N. L., Brown S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2011. Vol. 108. P. 9899–9904.
42. Swenson N. G., Enquist B. J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community – wide variation across latitude and elevation // *American Journal of Botany*. 2007. Vol. 94. No. 3. P. 451–459.
43. Thurner M., Beer C., Santoro M. et al. Carbon stock and density of northern boreal and temperate forests // *Global Ecology and Biogeography*. 2014. Vol. 23. P. 297–310.
44. Tonouewa M., Biao S. S. H., Assede E. et al. Influence of growth parameters on wood density of *Acacia auriculiformis* // *Maderas Ciencia y tecnología*. 2022. Vol. 24. P. 1–14.
45. Vieilledent G., Fischer F. J., Chave J. et al. New formula and conversion factor to compute basic wood density of tree species using a global wood technology database // *American Journal of Botany*. 2018. Vol. 105(10). P. 1–9.
46. Westoby M., Wright I. J. Land-plant ecology on the basis of functional traits // *Trends in Ecology and Evolution*. 2006. Vol. 21. P. 261–268.
47. Yang H., Stereńczak K., Karaszewski Z. et al. Similar importance of inter-tree and intra-tree variations in wood density observations in Central Europe // *EGUsphere*. 2024. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-2691>.

REFERENCES

1. Golikov V. V. Plotnost' kory vetvej svetlo-khvojnykh porod Sibiri // *Listvennitsa i ee ispol'zovanie v narodnom khozyajstve*. Krasnoyarsk : SibTI, 1982. S. 23–25.
2. Danilov D. A., Tyurin D. S., Zajtsev D. A. Plotnost' drevesiny sosny v plantatsionnykh nasazhdeniyakh, vyrashchivaemykh po intensivnoj tekhnologii v Leningradskoj oblasti // *Stolyarovskie chteniya: Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii*. SPb. : SPbNILKh, 2023. S. 21–24.
3. Danilov M. D. Izmenenie vesa i vlazhnosti khvoi sosny obyknovЕННОj (*Pinus sylvestris* L.) v svyazi s sobstvennym vozrastom i vozrastom dereva // *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1948. T. 59, № 8. S. 1487–1490.
4. Demakov Yu. P., Sharapov E. S., Korolev A. S. i dr. Plotnost' zabolonnoj drevesiny sosny obyknovЕННОj v lesakh Marijskogo Zavolzhiya // *Lesovedenie*. 2025. № 1. S. 15–27.
5. Isaeva L. N. Osobennosti raspredeleniya vlagi v razlichnykh chastyakh drevesiny stvolov kedra sibirskogo // *Trudy In-ta lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR*. Moscow : Izd-vo AN SSSR, 1963. S. 77–82.
6. Isaeva L. N. Raspredeleniye vlazhnosti v stvolakh rastushchikh derevyev osnovnykh porod Vostochnoi Sibiri // *Svoystva drevesiny, yeyo zashchita i novye drevesnye materialy*. Moscow : Nauka, 1966. S. 3–10.
7. Isaeva L. N. Vlazhnost' drevesiny rastushchikh derevyev v razlichnykh rayonakh proizrastaniya // *Drevesina i drevesnye materialy*. Krasnoyarsk : ILiD SO RAN, 1974. S. 18–28.
8. Isaeva L. N. Metod rascheta lokal'noy i sredney plotnosti absolutno sukhoy drevesiny v stvolakh sosny i listvennitsy // *Lesovedeniye*. 1978. № 4. S. 90–94.
9. Kryudener A. A. Massovyye tablitsy i tablitsy sbega osiny Yevropeyskoy Rossii. Iss. 4. St. Petersburg: Tipografiya Sanktpeterburgskogo upravleniya udelov, 1911. 86 s.
10. Nakhabtsev I. A. Takatsiya drevesnoy kory. Metodicheskiye ukazaniya i tablitsy protsentov kory k samostoyatel'noy rabote studentov. Leningrad : LLTU, 1990. 36 s.
11. Plyukha N. I., Usol'tsev V. A., Chasovskikh V. P. Otsenka srednevezhennykh kvalimetricheskikh pokazateley stvola po ikh znacheniyam na vysote grudi v yestestvennykh sosnyakakh i kulturakh // *Khvoynyye*

boreal'noy zony (Conifers of the boreal zone). 2025. Vol. 43. № 6. S. 47–57.

12. Poluboyarinov O. I. Plotnost' drevesiny. Moscow : Lesnaya promyshlennost', 1976. 160 s.

13. Pchelintsev V. I. Takatsiya kory listvennitsy // Lystvennitsa i yeye kompleksnaya pererabotka. Krasnoyarsk : SibTI, 1987. S. 9–14.

14. Usol'tsev V. A. Rost i struktura fitomassy drevostoyev. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, 1988. 253 s.

15. Usol'tsev V. A., Perederiy O. N., Prokhorov Yu. A. Kvalimetriya vetvey v sosnyakakh Aman-Karagaiskogo bora // Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana. 1985. № 7. S. 74–78.

16. Usol'tsev V. A., Vorobeychik E. L., Bergman I. E. Biologicheskaya produktivnost' lesov Urala v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya: Issledovaniye sistemy svyazey i zakonemernostey. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2012. 365 s.

17. Usol'tsev V. A., Kolchin K. V., Voronov M. P. Fiktivnye peremennye i smeshcheniya vseobshchikh allometricheskikh modeley pri lokal'noy ocenke fitomassy dereviev (na primere *Picea* L.) // Eko-Potencial. 2017. № 1 (17). S. 22–39. URL: <http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6502/1/eko-17-02.pdf>.

18. Usol'tsev V. A., Cepordey I. S. Geograficheskiye zakonemernosti izmeneniya bazisnoy plotnosti drevesiny i kory lesoobrazuyushchikh porod Yevrazii // Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2022. № 3. S. 59–68.

19. Uspenskiy V. V. Izmenchivost' plotnosti drevesiny sosny i yeye ispol'zovaniye v vesovoy taksatsii // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 1980. № 6. S. 9–12.

20. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2 (1). P. 49–53.

21. Bouchard E., Searle E., Drapeau P. et al. Global patterns and environmental drivers of forest functional composition // Global Ecology and Biogeography. 2024. Vol. 33. P. 303–324.

22. Ceornea C., Drăgoi M. A new metrics to manage the deadwood in forest stewardship council certified forests // Forestist. 2025. Vol. 75. Article 0040.

23. Chave J., Coomes D., Jansen S. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum // Ecology Letters. 2009. Vol. 12. P. 351–366.

24. Chave J., Muller-Landau H. C., Baker T. R. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species // Ecological Applications. 2006. Vol. 16. № 6. P. 2356–2367.

25. Chowdhury M. Q., Sarker S. K., Ali M. B. et al. Accounting intra-tree radial wood density variation estimates more accurate above ground mangrove biomass in the Sundarbans // European Journal of Forest Research. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10342-025-01784-3>

26. Fedyukov V. I., Musikhina L. A., Chernova M. S. et al. A non-destructive prediction method for the wood density variations of silver birch trees growing in the Middle Volga region, Russia // South-East European Forestry. 2020. Vol. 11(1). P. 85–90.

27. Fu L. Y., Zeng W. S., Tang S. Z. et al. Using linear mixed model and dummy variable model

approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China // Journal of Forest Science. 2012. Vol. 58. No. 3. P. 101–115.

28. Giagli K., Vavrcík H., Fajstavr M. et al. Stand factors affecting the wood density of naturally regenerated young silver birch growing at the lower altitude of the Czech Republic region // Wood Research. 2019. Vol. 64. P. 1011–1022.

29. Glass S. V., Zelinka S. L. Moisture relations and physical properties of wood // Wood handbook: wood as an engineering material. Chapter 4. Centennial Edition. General technical report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. P. 4.1–4.19.

30. Kraft N. J. B., Metz M. R., Condit R. S. et al. The relationship between wood density and mortality in a global tropical forest data set // New Phytologist. 2010. Vol. 188. P. 1124–1136.

31. Liepinš K., Liepinš J., Ivanovs J. et al. Variation in the basic density of the tree components of gray alder and common alder // Forests. 2023. Vol. 14. Article 135.

32. Mo L., Crowther T. W., Maynard D. S. et al. The global distribution and drivers of wood density and their impact on forest carbon stocks // Nature Ecology and Evolution. 2024. Vol. 8(12). P. 2195–2212.

33. Pérez-Ramos I. M., Matías L., Gómez-Aparicio L. et al. Functional traits and phenotypic plasticity modulate species coexistence across contrasting climatic conditions // Nature Communications. 2019. Vol. 10. Article 2555.

34. Petráš R., Mecko J., Krupova D. et al. Aboveground biomass basic density of softwoods tree species // Wood Research. 2019. Vol. 64(2). P. 205–212.

35. Petráš R., Mecko J., Krupova D. et al. Aboveground biomass basic density of hardwoods tree species // Wood Research. 2020. Vol. 65(6). P. 1001–1012.

36. Poorter L., Rozendaal D. M. A., Bongers F. et al. Wet and dry tropical forests show opposite successional pathways in wood density but converge over time // Nature Ecology and Evolution. 2019. Vol. 3. P. 928–934.

37. Portal-Cahuana L. A., Piña E. A. G., Tuesta G. P. et al. Radial variation of wood density and fiber morphology of two commercial species in a tropical humid forest in southeastern Peru // CERNE. 2023. Vol. 29. Article e-103143.

38. Que Q., Ouyang K., Li C. et al. Geographic variation in growth and wood traits of *Neolamarckia cadamba* in China // Forestry Research. 2022. Vol. 2. Article 12.

39. Reich P. B., Wright I. J., Cavender-Bares J. et al. The evolution of plant functional variation: traits, spectra and strategies // International Journal of Plant Sciences. 2003. Vol. 164. P. S143–S164.

40. Reis S. M., Marimon B. S., Muelbert A. E. et al. Climate and crown damage drive tree mortality in southern Amazonian edge forests // Journal of Ecology. 2022. Vol. 110. P. 876–888.

41. Saatchi S. S., Harris N. L., Brown S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2011. Vol. 108. P. 9899–9904.

42. Swenson N. G., Enquist B. J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community – wide variation across latitude and elevation // *American Journal of Botany*. 2007. Vol. 94. No. 3. P. 451–459.

43. Thurner M., Beer C., Santoro M. et al. Carbon stock and density of northern boreal and temperate forests // *Global Ecology and Biogeography*. 2014. Vol. 23. P. 297–310.

44. Tonouewa M., Biaou S. S. H., Assede E. et al. Influence of growth parameters on wood density of *Acacia auriculiformis* // *Maderas Ciencia y tecnología*. 2022. Vol. 24. P. 1–14.

45. Vieilledent G., Fischer F. J., Chave J. et al. New formula and conversion factor to compute basic wood

density of tree species using a global wood technology database // *American Journal of Botany*. 2018. Vol. 105(10). P. 1–9.

46. Westoby M., Wright I. J. Land-plant ecology on the basis of functional traits // *Trends in Ecology and Evolution*. 2006. Vol. 21. P. 261–268.

47. Yang H., Stereńczak K., Karaszewski Z. et al. Similar importance of inter-tree and intra-tree variations in wood density observations in Central Europe // *EGUsphere*. 2024. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-2691>

© Плюха Н. И., Усольцев В. А.,
Часовских В. П., 2026

Поступила в редакцию 27.05.2025
Принята к печати 20.02.2026

КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПО ОПАСНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ОТ ГРОЗ*

В. А. Иванов^{1,2}, Г. А. Иванова², Е. И. Пономарев², Е. О. Бакшеева¹

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: ivanovv53@yandex.ru; morozovaelenabaksheeva@mail.ru

²Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru; evg@ksc.krasn.ru

Аннотация. В последнее десятилетие на территории Красноярского края возросло количество лесных пожаров от гроз и составило в 2018 году 70 % от общего числа пожаров. Высокая горимость лесов края объясняется не только географическим положением и хозяйственным освоением лесной территории, но и изменением климата и грозовой активности. Разработано классифицирование территории Красноярского края по степени опасности возникновения лесных пожаров от гроз по лесничествам и лесным районам на основе показателей фактической горимости и факторов, влияющих на возникновение пожаров от гроз. При классификации использован сравнительный анализ применения весовых коэффициентов и коэффициентов значимости в классификационных геоэкологических моделях. Представленная классификация территорий лесничеств края по степени опасности возникновения лесных пожаров от гроз позволяет дифференцировано планировать работы по охране лесов от пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, пожарная опасность от гроз, классифицирование лесных территорий, лесничество.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 50–60

CLASSIFICATION OF THE KRASNOYARSK TERRITORY BY THE RISK OF FOREST FIRES FROM THUNDERSTORMS

V. A. Ivanov^{1,2}, G. A. Ivanova², E. I. Ponomarev², E. O. Baksheeva¹

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

E-mail: ivanovv53@yandex.ru; morozovaelenabaksheeva@mail.ru

²Sukachev Forest Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

50/28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru; evg@ksc.krasn.ru

Abstract. In recent years, the number of forest fires from thunderstorms has increased in the Krasnoyarsk Territory and in 2018 amounted to 70 % of the total number of fires., the number of forest fires from thunderstorms has increased in the Krasnoyarsk Territory and in 2018 amounted to 70 % of the total number of fires. The high flammability of the region's forests is explained not only by the geographical location and economic development of the forest territory, but also by climate change and thunderstorm activity. A classification of the Krasnoyarsk Territory territory by the degree of danger of forest fires from thunderstorms has been developed for forestries and forest areas based on actual flammability indicators and factors influencing the occurrence of fires from thunderstorms. The classification uses a comparative analysis of the use of weighting factors and significance coefficients in classification geoecological models. The presented classification of the territories of the region's forestries by the degree of danger of forest fires from thunderstorms allows for differentiated planning of forest fire protection work.

Keywords: forest fires, fire hazard from thunderstorms, classification of forest areas, forestry.

* Работа выполнена при поддержке госзадания ИЛ СО РАН КИЦ СО РАН № FWES -2024-0007, Пер. НИОКТР № 124012900559-4.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия на территории Средней Сибири увеличилось количество лесных пожаров от гроз и их площади. По мнению многих авторов это связано с изменением климата и грозоактивности, а также с интенсивным индустриальным освоением лесных территорий [1–4]. Горимость лесов Красноярского края широко варьирует по годам и по территории в зависимости от разнообразия природно-климатических и погодных условий региона.

При планировании и проведении работ по противопожарному обустройству лесов необходимо установление причин лесных пожаров, характера и возможных закономерностей в их распределении во времени и пространстве, определение степени влияния природных и экономических условий на уровень горимости лесов. Противопожарное обустройство лесов представляет собой комплекс мер, направленных на недопущение распространения лесных пожаров [5]. В решении задач рационального использования, охраны и воспроизводства лесных ресурсов большое значение имеет выявление закономерностей пространственной структуры лесного фонда территориальных систем различного уровня [6].

В северных районах Красноярского края лесные пожары возникают в основном от гроз, а в центральных и южных – от антропогенных источников огня. Факторы, оказывающие влияние на частоту пожаров от гроз, рассмотрены в ряде научных работ [7–9]. Авторами приведена оценка опасности возникновения лесных пожаров от гроз на территории края, но без детализации её по лесничествам.

Целью данной работы является детальная оценка факторов, влияющих на возникновение лесных пожаров от гроз, и разработка классификации лесов лесничеств на территории Красноярского края по опасности возникновения пожаров от гроз для принятия рациональных мер по сокращению ущерба от лесных пожаров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Областью классифицирования лесов на территории Средней Сибири по опасности возникновения пожаров от гроз выбран государственный лесной фонд Красноярского края, на территории которого по состоянию на 1 января 2025 года выделено 61 лесничество. Для анализа горимости лесов региона использованы открытые данные официальной статистической отчетности по лесным пожарам на территории края за период 2004–2023 гг. [10].

Классифицирование по степени опасности возникновения пожаров от гроз выполнено на основе показателей фактической горимости лесов лесничеств и факторов, влияющих на возникновение пожаров от гроз на их территории. Для оценки фактической горимости лесов за анализируемый период по числу случаев загораний на 100 тыс. га за сезон и по пройденной огнем площади (га) на 100 тыс. га за сезон использована шкала, разработанная М. А. Софроновым [11].

Были проанализированы факторы, оказывающие влияние на возможность возникновения пожара от гроз. Для каждого лесничества определены числовые зна-

чения для рассматриваемых факторов на основе литературных данных, фондовых материалов, собственных исследований и произведены расчеты интегрального показателя для каждого лесничества. При классификации использован сравнительный анализ применения весовых коэффициентов и коэффициентов значимости в классификационных геоэкологических моделях [12; 13].

С целью расчета значения интегрального показателя факторы были нормированы по минимуму и максимуму их выборок и выражены в баллах (долях единицы) по формуле

$$F_j = F_j - F_{\min} / F_{\max} - F_{\min}, \quad (1)$$

где F_j – значение показателя фактора для лесничества j ; $F_{\max}$, $F_{\min}$ – минимальное и максимальное значения показателя фактора по всем лесничествам.

Как известно, значимость факторов не равнозначна, особенно при тематическом районировании, где значимость фактора определяется его вкладом в конечный результат. Для количественной оценки факторов использовали весовые коэффициенты, рассчитанные по методике А. В. Короленко (2017) [14]. Для каждого частного фактора вычислялся коэффициент относительного разброса по следующей формуле:

$$v = F_{\max} - F_{\min} / F_{\max}, \quad (2)$$

где v – коэффициент относительного разброса; $F_{\max}$, $F_{\min}$ – минимальное и максимальное значения показателя фактора, который определяет максимально возможное отклонение по частному фактору.

Весовые коэффициенты (K) получают наибольшее значение для тех факторов, относительный разброс которых в области оценок наиболее значителен:

$$K = v / (v_1 + v_2 + v_3 \dots + v_n). \quad (3)$$

Сумма всех весовых коэффициентов равна 1.

Интегральный показатель опасности возникновения пожара от гроз определяли как сумму показателей частных факторов (с учетом весового коэффициента каждого фактора), выраженных в баллах. Для оценки качества используемых факторов был проведен анализ корреляционной матрицы, который показал отсутствие мультиколлинеарности (линейной зависимости). Коэффициент корреляции не превышает 0,6.

В основу классификации территорий лесничеств по опасности возникновения лесных пожаров от гроз положен интегральный показатель по природным факторам. Для оценки степени пожарной опасности от гроз по интегральным показателям использовали равномерно расширяющуюся шкалу с пятью классами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лесорастительные и погодные условия на территории Красноярского края, протяженностью 3000 км с севера на юг, чрезвычайно сложные и разнообразные. За период с 2004 по 2023 годы по данным «ИСДМ-Рослесхоз» на территории края было зарегистрировано более 23,5 тысяч лесных пожаров (рис. 1) [10]. Ежегодно возникало в среднем 1176 лесных пожаров, с варьированием от 378 пожаров (2005 г.) до 2410 пожаров (2012 г.).

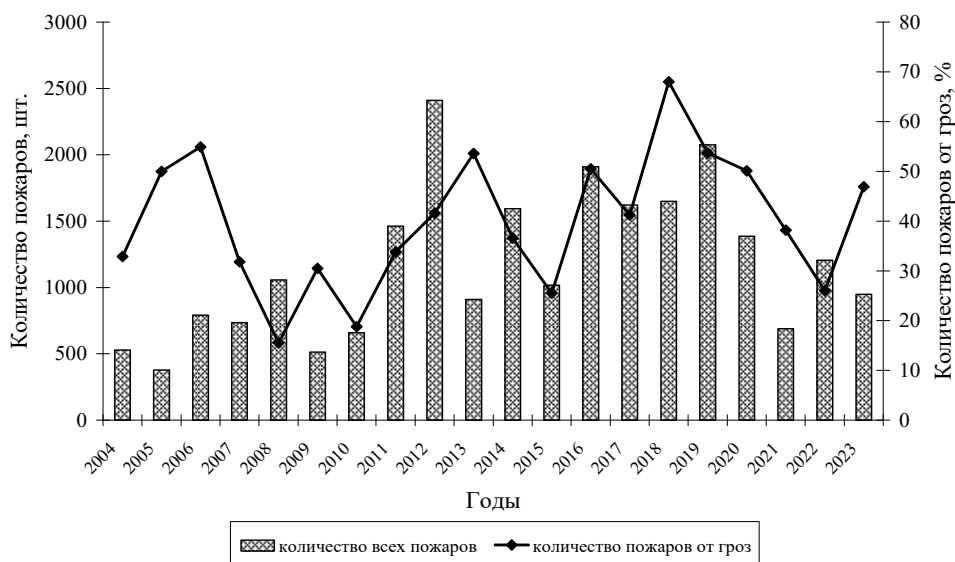


Рис. 1. Динамика лесных пожаров на территории Средней Сибири за 2004–2023 гг.

Варьирование числа пожаров по годам по причинам их возникновения существенно. Так, доля пожаров, возникших от антропогенных источников огня, составил, 45,6 %, а от гроз – 67,4 %. Пожары от гроз в большей мере зависят от погодных условий пожароопасного сезона. В последнее десятилетие количество лесных пожаров от гроз возросло и составило в 2018 году 70 % от общего числа пожаров.

Частота пожаров (количество пожаров на 100 тыс. га) по отдельным лесничествам варьирует в более широких пределах. Так, от антропогенных источников огня коэффициент варьирования составляет – 152,3 %, а от гроз – 144,8 %.

Возникновения пожара от грозы на территории лесного участка возможно при сочетании трех условий. Это погодные условия в сочетании с физическими характеристиками подстилающей поверхности, определяющие вероятность грозовых разрядов (появлению источника тепла), наличие горючих материалов, способных загореться от молнии, и погодных условий предыдущего периода, способствующих их высыханию (влажность содержания проводников горения 14 % и менее).

Классифицирование территории Красноярского края по опасности возникновения пожаров от гроз выполнено на основе анализа статистических данных по лесничествам. Классифицирование проведено для характеристики физических условий возможного возникновения лесного пожара от грозы при заданных метеорологических, лесорастительных и физико-географических особенностях локальных территорий.

При всем разнообразии методов классифицирования, использование большого количества информации затрудняет процесс районирования [15]. Поэтому при классифицировании часто используют научный подход, основанный на экспертных оценках. В связи с этим, мы, при выборе из множества доступных частных факторов, выбирали только те факторы, у которых был наибольший коэффициент варьирования, чтобы по возможности ограничить субъективизм методики.

При классификации были использованы следующие данные:

- среднее число дней с грозой,
- доля площади песчаных и супесчаных почв по гранулометрическому составу в общей площади лесничества,
- коэффициент природной пожарной опасности территории лесничества (доля площадей участков I–II классов природной пожарной опасности в общей площади лесничества),
- доля количества дней с III–V классами пожарной опасности по условиям погоды от продолжительности пожароопасного сезона на территории лесничества (среднее многолетнее значение за 2008–2023 гг.),
- доля пожаров в летний период (июнь–август) к общему количеству пожаров за пожароопасный сезон (среднее многолетнее значение за 2008–2023 гг.),
- лесистость территории лесничества.

Сочетание повторяемости тех или иных факторов в пожароопасном сезоне определяет количество пожаров от гроз на территории лесничества. В табл. 1 приведены числовые показатели факторов, оказывающие влияние на возможность возникновения пожара от грозы, и приведены интегральные показатели оценки пожарной опасности от гроз на основе взвешенных частных факторов для каждого лесничества.

Грозовая активность. На территории Красноярского края грозы в основном наблюдаются в летний период и значительно реже весной и осенью. Число дней с грозой и продолжительность гроз зависят в основном от физико-географических условий местности. Грозовая деятельность на территории лесничеств разнообразна: среднее число дней с грозой изменяется от 10 до 37 (при стандартном отклонении 4,15 коэффициент варьирования равен 19,3 %) [16].

Наименьшее количество гроз наблюдается на территории Эвенкийского лесничества (в среднем 10 дней). С продвижением на юг число дней с грозой возрастает и максимум (в среднем 37–38 дней) регистрируется на территории Усинского лесничества по данным метеостанций Нижне-Усинское и Усть-Уса [17]. Если не

рассматривать эти две крайние точки грозовой активности, то коэффициент варьирования равен 15,6 %, что показывает слабую изменчивость числа дней с грозой на территории лесничеств Красноярского края. Это, по-видимому, связано с тем, что регистрация гроз на

метеорологических станциях в большинстве случаев производится визуально на расстоянии от пункта наблюдения до 15 км. И в большинстве случаев наблюдают фронтальные грозы, которые фиксируются одновременно на нескольких метеостанциях.

Таблица 1
Факторы возникновения пожаров от гроз и их оценка

Лесничество	Факторы						Интегральный показатель
	среднее число дней с грозой	доля площади песчаных и супесчаных почв	коэффициент природной пожарной опасности	доля дней с III–V классами пожарной опасности погоды	доля пожаров в летний период	лесистость, %	
1 Абанское	21	0,37	0,632	0,40	0,32	56,2	0,49
2 Ачинское	22	0,20	0,008	0,46	0,09	54,4	0,27
3 Байкитское	15	0,16	0,112	0,40	0,96	87,0	0,49
4 Балахтинское	22	0,05	0	0,41	0,12	27,0	0,16
5 Боготольское	20	0,32	0,152	0,41	0,17	38,0	0,30
6 Богучанское	23	0,06	0,223	0,54	0,54	86,0	0,46
7 Большемурутинское	21	0,15	0,042	0,51	0,26	71,8	0,34
8 Большеулуйское	24	0,28	0,019	0,41	0,05	66,7	0,30
9 Борское	19	0,29	0,045	0,34	0,97	94,2	0,51
10 В-Манское	20	0,09	0,242	0,34	0,21	74,9	0,33
11 Гремучинское	23	0,08	0,460	0,54	0,80	91,1	0,58
12 Даурское	24	0,00	0,208	0,41	0,42	73,1	0,36
13 Дзержинское	21	0,10	0,345	0,38	0,29	60,4	0,34
14 Д-Мостовское	20	0,23	0,066	0,40	0,42	94,7	0,44
15 Емельяновское	23	0,17	0,131	0,26	0,17	62,7	0,26
16 Енисейское	23	0,44	0,186	0,20	0,62	83,6	0,47
17 Ермаковское	24	0,28	0,139	0,29	0,25	71,9	0,34
18 Идринское	25	0,00	0,017	0,41	0,11	51,0	0,21
19 Иланское	17	0,04	0,081	0,44	0,19	62,5	0,26
20 Ирбейское	20	0,06	0,372	0,35	0,29	77,3	0,36
21 Казачинское	23	0,24	0,032	0,45	0,36	70,5	0,37
22 Канское	17	0,10	0,280	0,42	0,22	46,5	0,29
23 Каратузское	21	0,30	0,002	0,31	0,10	74,4	0,29
24 Кизирское	27	0,00	0,053	0,22	0,83	80,2	0,38
25 Козинское	17	0,25	0,332	0,54	0,84	89,0	0,59
26 Краснотуранское	24	0,03	0,114	0,42	0,16	14,2	0,21
27 Козульское	18	0,00	0,063	0,36	0,00	76,7	0,15
28 Красноярское	23	0,04	0,040	0,41	0,32	78,8	0,31
29 Курагинское	21	0,13	0,058	0,30	0,16	66,3	0,25
30 Маганское	21	0,00	0,014	0,41	0,21	82,9	0,28
31 Манзенское	23	0,41	0,190	0,71	0,67	94,1	0,63
32 Манское	18	0,03	0,444	0,34	0,21	79,3	0,35
33 Мининское	23	0,00	0,139	0,41	0,36	94,8	0,37
34 Минусинское	20	0,03	0,739	0,38	0,34	53,3	0,46
35 Мотыгинское	20	0,26	0,422	0,53	0,80	94,1	0,62
36 Назаровское	20	0,12	0,185	0,48	0,05	11,3	0,18
37 Невонское	18	0,01	0,431	0,54	0,81	92,2	0,62
38 Н-Енисейское	17	0,73	0,202	0,19	0,96	75,6	0,61
39 Новоселовское	25	0,04	0,061	0,49	0,04	32,9	0,20
40 Пировское	24	0,16	0,081	0,38	0,30	76,7	0,35
41 Пойменское	26	0,12	0,329	0,42	0,27	31,5	0,29
42 Рыбинское	17	0,02	0	0,39	0,10	23,6	0,13
43 Шушенское	19	0,19	0,057	0,27	0,29	70,6	0,46
44 Саянское	30	0,58	0,038	0,33	0,14	55,1	0,36
45 Североенисейское	24	0,16	0,133	0,21	0,97	96,0	0,48
46 Сухобузимское	22	0,32	0,227	0,53	0,13	50,6	0,36
47 Таймырское	нет данных						
48 Тасжинское	19	0,33	0,278	0,45	0,43	82,6	0,48
49 Теряинское	23	0,09	0,103	0,65	0,92	84,6	0,52
50 Тинское	24	0,34	0,216	0,44	0,27	67,0	0,35

Окончание табл. 1

Лесничество	Факторы						Интегральный показатель
	среднее число дней с грозой	доля площади песчаных и супесчаных почв	коэффициент природной пожарной опасности	доля дней с III–V классами пожарной опасности погоды	доля пожаров в летний период	лесистость, %	
51 Тунгусско-Чунское	15	0,28	0,453	0,42	0,92	83,0	0,59
52 Туруханское	12	0,30	0,864	0,22	0,98	56,8	0,59
53 Тюхтетское	27	0,07	0,035	0,46	0,27	85,0	0,31
54 Ужурское	20	0,11	0,072	0,53	0,07	26,0	0,21
55 Усинское	37	0,15	0,175	0,38	0,46	71,3	0,55
56 Усольское	20	0,13	0,358	0,53	0,45	78,9	0,46
57 Уярское	16	0,69	0,072	0,39	0,12	33,7	0,19
58 Хребтовское	17	0,43	0,446	0,54	0,88	94,6	0,68
59 Шарыповское	23	0,06	0	0,54	0,03	32,8	0,19
60 Чунское	20	0,66	0,250	0,51	0,71	92,3	0,66
61 Эвенкийское	10	0,02	0,276	0,63	0,98	54,2	0,47
Коэффициент варьирования	19,3	95,8	94,7	24,4	77,5	33,4	36,8
Коэффициент относительного разброса	0,42	1,0	1,0	0,73	1,0	0,88	Сумма 5,03
Весовой коэффициент	0,08	0,2	0,21	0,14	0,2	0,17	Сумма 1,0

Регистрация внутримассовых гроз, от которых в основном и возникают лесные пожары, затруднительна, так как они носят кратковременный и локальный характер. В связи с этим, только по данным метеорологической станции о грозовой активности о возможности возникновения пожара на территории лесничества судить трудно.

Доля площади песчаных и супесчаных почв – это доля территории, характеризующаяся наибольшей вероятностью загорания напочвенных горючих материалов от молнии. Данные о гранулометрическом составе почвы взяты из Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [18]. Песчаные и супесчаные почвы имеют высокое удельное сопротивление, благодаря этому ток молнии, растекаясь по напочвенному покрову, образует длинный искровой разряд, который на своем пути вызывает загорание ЛГМ. Суглинистые и глинистые почвы имеют низкое удельное сопротивление, в связи с чем в местах удара ток молнии практически не растекается и происходит ее заземление [9].

ЛГМ. Оценка пожароопасности ЛГМ на территории лесничества обычно приводят по среднему классу природной пожарной опасности, но он не дает полного представления о доли лесных участков, способных загораться от молнии при соответствующих погодных условиях. В связи с этим мы предлагаем использовать коэффициент природной пожарной опасности, разработанный и предложенный Г. П. Телицыным (1989), который учитывает только долю площадей участков с I–II классами природной пожарной опасности в общей площади лесничества [19].

Доля количества дней с III–V классами пожарной опасности по погоде показывает продолжительность пребывания лесных участков в пожароопасном состоянии за сезон [20].

Доля пожаров в летний период от общего количества пожаров позволяет судить о том, когда на терри-

тории лесничества наблюдается пик горимости и совпадает ли он с грозовой активностью.

Лесистость территории лесничества определяет вероятность попадания разряда молнии в лесной участок, находящийся на территории лесничества (Регламент лесничества).

На основе взвешенных частных факторов для каждого лесничества рассчитаны интегральные показатели оценки пожарной опасности от гроз (табл. 1).

Связь частоты пожаров от гроз с рассмотренными факторами прямая (коэффициент корреляции 0,68).

В основу классификации территорий лесничеств по опасности возникновения лесных пожаров от гроз положен интегральный показатель по природным факторам. Для оценки степени пожарной опасности от гроз по интегральному показателю разработана равномерно расширяющаяся шкала с пятью классами:

1 класс: очень низкая – менее 0,21;

2 класс: низкая 0,22–0,32;

3 класс: умеренная 0,33–0,43;

4 класс: повышенная 0,44–0,57;

5 класс: высокая – 0,58 и более.

На рис. 2. приведена схематическая карта классифицирования, по степени грозовой пожарной опасности территории лесничеств Красноярского края в разрезе лесных районов, а в табл. 2 распределение лесничеств по опасности возникновения пожаров от гроз.

Коэффициент корреляции частоты пожаров от гроз с полученным интегральным показателем + 0,681, а коэффициент корреляции доли пожаров от гроз к общему количеству пожаров с полученным интегральным показателем + 0,789.

Среднесибирский плоскогорный таежный лесной район. Площадь района в границах Красноярского края свыше 81 млн га. Преобладает холмистая местность. Слабо развита дорожная сеть, низкая плотность населения, леса малодоступны [21]. Лесистость

территории варьирует от 56 до 94 %. Среднее число дней с грозой составляет 10–19. Опасность возникновения лесного пожара от грозы по лесничествам высокая (Туруханское лесничество) и повышенная (Байкитское, Борское и Эвенкийское лесничества). Пожары возникают летом, более 90 % случаев от гроз. За

пожароопасный сезон в среднем ежегодно регистрируется до 116 пожаров от гроз, что составляет 10,4 % от числа всех пожаров на территории края. Средняя продолжительность фактического пожароопасного сезона 97 дней. Средний класс природной пожарной опасности II,9. В Туруханском лесничестве I,7.

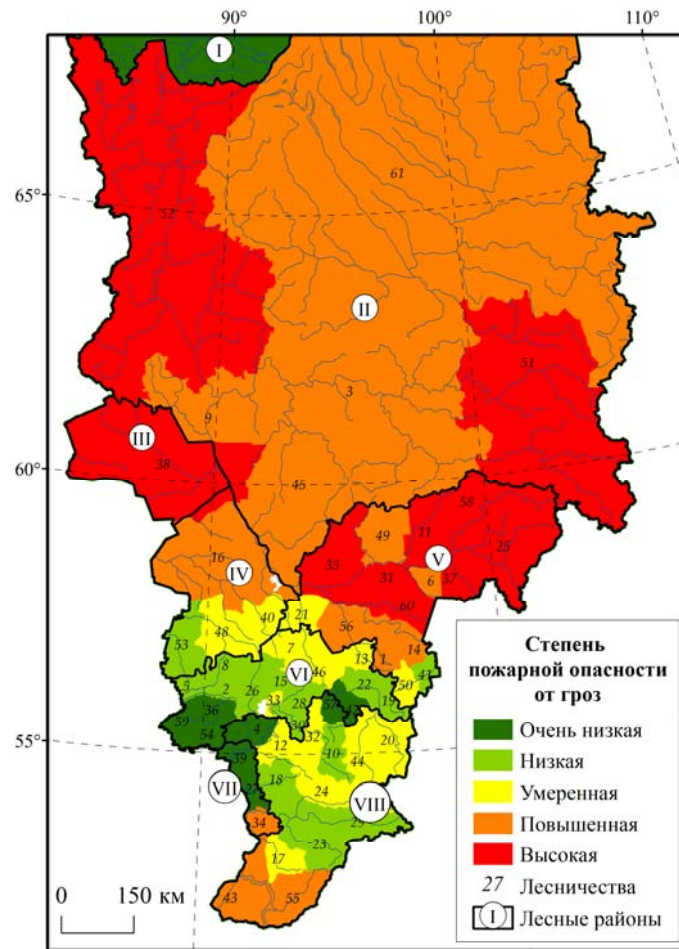


Рис. 2. Схематическая карта районирования Красноярского края по степени грозовой пожарной опасности в масштабе лесничеств:

лесные районы: I – Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги; II – Среднесибирский плоскогорный таежный; III – Западно-сибирский средне-таежный равнинный; IV – Западно-Сибирский южнотаежный; V – Приангарский; VI – Среднесибирский подтаежно-лесостепной; VII – Алтае-Саянский горнолесостепной; VIII – Алтае-Саянский горнотаежный

Таблица 2

Распределение лесничеств по опасности возникновения пожаров от гроз

Степень опасности возникновения пожара от грозы	Лесничество	Частота пожаров от гроз шт./100 тыс. га	Среднее количество пожаров в год
Среднесибирский плоскогорный таежный			
Высокая	Туруханское	0,08	24
Повышенная	Байкитское	0,25	40,0
	Борское	0,21	4,5
	Эвенкийское	0,10	47,2
Западно-Сибирский средне-таежный равнинный			
Высокая	Нижне-Енисейское	0,73	44
Западно-Сибирский южнотаежный			
Повышенная	Енисейское	0,30	12,6
Умеренная	Пировское	0,15	0,75
	Таежинское	0,10	0,81
Низкая	Тюхтетское	0,0	0,0

Окончание табл. 2

Степень опасности возникновения пожара от грозы	Лесничество	Частота пожаров от гроз шт./100 тыс. га	Среднее количество пожаров в год
Нижнеангарский таежный			
Высокая	Гремучинское	2,04	24,6
	Кодинское	2,21	70,8
	Манзенское	2,86	14,1
	Мотыгинское	0,9	16,3
	Невонское	2,14	10,6
	Тунгусско-Чунское	0,78	84,0
	Хребтовское	1,95	16,1
	Чунское	4,02	36,7
Повышенная	Абанское	0,96	3,9
	Богучанское	1,47	4,3
	Долгомостовское	0,78	2,4
	Северо-Енисейское	0,48	22,4
	Теряное	2,27	23,9
	Усольское	1,1	9,8
Умеренная	Казачинское	0,22	1,0
	Тинское	0,11	0,4
Низкая	Пойменское	0,36	0,8
Среднесибирский подтаежно-лесостепной			
Умеренная	Большемуртинское	0,12	0,68
	Дзержинское	0,32	1,0
	Мининское	0,16	0,25
	Сухобузимское	0,06	0,12
Низкая	Ачинское	0,0	0,0
	Боготольское	0,13	0,28
	Емельяновское	0,08	0,3
	Большеулуйское	0,0	0,0
	Иланское	0,07	0,18
	Канское	0,08	0,18
	Красноярское	0,6	1,2
	Идринское	0,11	0,37
Очень низкая	Козульское	0,0	0,0
	Назаровское	0,0	0,0
	Новоселовское	0,0	0,0
	Рыбинское	0,0	0,0
	Ужурское	0,0	0,0
	Уярское	0,2	0,37
	Шарыповское	0,0	0,0
Алтае-Саянский горно-таежный			
Повышенная	Саяно-Шушенское	0,71	5,4
	Усинское	1,12	10,7
Умеренная	Верхнеманское	0,41	1,9
	Даурское	0,18	0,75
	Ермаковское	0,73	2,8
	Ирбейское	0,11	1,0
	Кизирское	0,14	2,0
	Манское	0,49	2,6
	Саянское	0,18	1,0
Низкая	Каратузское	0,07	0,56
	Курагинское	0,17	1,7
	Маганское	0,59	1,0
Очень низкая	Балахтинское	0,29	0,5
Алтае-Саянский горно-лесостепной			
Повышенная	Минусинское	2,51	2,1
Очень низкая	Краснотуранское	0,36	0,18

В районе до 35,4 % площади лесного фонда приходится на 1 и 2 классы природной пожарной опасности. Преобладающие группы типов леса: кустарничково-моховая, лишайниковая, сфагновая, зеленомош-

ная. Продолжительный световой день (12 часов и более) благоприятствует высыханию ЛГМ. Лесорастительные и погодные условия способствуют возникновению лесных пожаров от гроз.

Интегральный показатель для данного района 0,49, что соответствует повышенной опасности возникновения пожаров от гроз.

Западно-Сибирский средне-таежный равнинный район. К району отнесена территория Нижне-Енисейское лесничества с высокой пожарной опасностью возникновения пожаров от гроз, площадью 6,1 млн га. Леса труднодоступные, низкая плотность населения [21]. Лесистость 75 %. Местность равнинная, значительная доля площади занята болотами, многочисленными мелкими озерами и речками, которые быстро прогреваются, увлажняют воздух и способствуют развитию внутримассовых гроз. Среднее число дней с грозой в году по территории варьирует от 23 до 26. Ежегодно в среднем возникает 44 пожара от гроз. Средний класс природной пожарной опасности III,3. В районе до 10,0 % площади лесного фонда приходится на 1 и 2 классы природной пожарной опасности. Продолжительность фактического пожароопасного сезона 117 дней. Наиболее часто горимы сосновые боры зеленомошной группы, произрастающие на песчаных гнивах.

Интегральный показатель района 0,61, высокая опасность возникновения пожаров от гроз.

Западно-Сибирский южнотаежный равнинный район. Площадь района в пределах края 6,6 млн га. Рельеф равнинный. Лесистость 82 %. Значительная доля площади занята болотными экосистемами. Низкая плотность населения, леса труднодоступные. Средне взвешенный интегральный показатель для лесного района 0,43.

На территории района выделены лесничества с высокой (Енисейское), умеренной (Пировское, Таежинское) и низкой (Тюхтетское) опасностью возникновения пожаров от гроз. Енисейское лесничество с высокой опасностью возникновения пожаров от гроз находится в северной части лесного района. Значительная доля площади, также как в примыкающем Нижне-Енисейском лесничестве, занята болотами, что является дополнительным фактором, способствующим формированию внутримассовых гроз. Среднее число дней с грозой в году 23. Средний класс природной пожарной опасности III,2. В Енисейском лесничестве до 18,6 % площади лесного фонда приходится на 1 и 2 классы природной пожарной опасности. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона в лесничестве 159 дней. Основная причина возникновения пожаров – грозы (53 %).

Пировское и Таежинское лесничества с умеренной опасностью возникновения пожаров от гроз находятся в юго-восточной части этого лесного района. Среднее число дней с грозой в году варьирует от 23 до 26. Продолжительность календарного пожароопасного сезона в лесничествах 127 дней. Основная причина пожаров – хозяйственная деятельность населения (85–96 %). В Пировском лесничестве средний класс природной пожарной опасности III,4. Площадь лесов с 1 и 2 классами природной пожарной опасности составляет 8,1 %. Лесистость 76,7 %. В Таежинском лесничестве средний класс природной пожарной опасности II,9. Площадь лесов с 1 и 2 классами природной пожарной опасности более 27 %. Лесистость 82,6 %. Как

и в Пировском лесничестве основная причина пожаров – хозяйственная деятельность населения.

Тюхтетское лесничество с низкой опасностью возникновения пожаров от гроз находится в южной части лесного района. Среднее число дней с грозой в году – 27. Природная пожарная опасность лесов невысокая – III,7, что объясняется преобладанием лиственных насаждений около 73 %, а четвертая часть покрытой лесом площади расположена на избыточно-увлажненных почвах. В Тюхтетском лесничестве только 8 % площади лесного фонда отнесены к 1 и 2 классам природной пожарной опасности. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона в лесничестве 127 дней. За период с 2008–2024 годы не было зафиксировано ни одного пожара от гроз.

Нижнеангарский таежный район площадью 28,4 млн га представляет собой систему ландшафтов в виде плоских водоразделов, разделенных глубокими долинами с отметками 300–500 м. Леса района представлены сосновыми, лиственничными и березовыми насаждениями. Среднее число дней с грозой здесь составляет 15–24. В целом леса относятся к II,2 и III,9 классам пожароопасности. Пожары от гроз начинаются в третьей декаде мая и заканчиваются в конце июля. В лесном районе расположены территории лесничеств с варьированием опасности возникновения лесных пожаров от гроз от очень высокой до умеренной.

Территория с высокой опасностью возникновения пожаров от гроз, объединяет 8 лесничеств (Гремучинское, Кодинское, Манзенское, Мотыгинское, Невонское, Тунгусско-Чунское, Хребтовское, Чунское), которые занимают 69,6 % площади лесного фонда района и расположены в основном в северо-восточной части района. Природная пожарная опасность высокая II,8. Распределение территории лесничеств по классам природной пожарной опасности показывает, что к первым двум классам относится 8,2 млн га (28,9 % от площади лесного фонда района). Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона в лесничествах 118 дней. От гроз в среднем ежегодно возникает до 273 лесных пожаров (72 %).

Леса с повышенной опасностью возникновения пожаров от гроз занимают площадь 7,6 млн га. В состав входят территории 6 лесничеств (Абанское, Богучанское, Долгомостовское, Северо-Енисейское, Теряинское, Усольское), четыре из которых расположены в северо-западной части района, а два лесничества на юге района и примыкают непосредственно к лесостепному району. Средний класс пожароопасности III,3. Согласно лесоустроительным данным к I и II классам пожароопасности отнесены 4,9 % площади района. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона в лесничествах – 128 дней. От гроз в среднем регистрируется 66 лесных пожаров (43 %).

С умеренной пожароопасностью от гроз в районе выделено 2 лесничества (Казачинское, Тинское), площадью 754 тыс. га. Лесистость 68 %. Преобладают березовые и пихтовые насаждения. Средний класс природной пожарной опасности III,5. К первому и второму классам природной пожарной опасности

отнесено 74 тыс. га. В лесничествах от гроз в среднем возникает не более одного пожара в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона – 133 дня.

В данном районе с низкой пожарной опасностью возникновения пожаров от гроз выделено одно лесничество (Пойменское), площадью 225 тыс. га. Лесистость территории 31,5 %. Преобладают мелколиственные насаждения. Средний класс природной пожарной опасности III,0. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 139 дня.

Опасность возникновения пожаров от гроз повышенная – интегральный показатель лесного района 0,55.

Среднесибирский подтаежно-лесостепной район площадью 3,7 млн га имеет гористый и равнинный рельеф. Леса района представлены в основном сосновыми и березовыми насаждениями, преобладает травяная группа типов леса. В район входят лесничества от умеренной до очень низкой пожарной опасности от гроз. Среднее число дней с грозой составляет 16–24. Отмечается слабая внутримассовая грозовая активность в виду низкой влажности воздуха при повышенных температурах (Региональный мониторинг атмосферы, 2000).

Площадь лесничеств с умеренной пожароопасностью от гроз (Большемуртинское, Держинское, Мининское, Сухобузимское) в районе составляет 1,3 млн га. Лесистость территории 50–90 %. Средний класс пожарной опасности III. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 193,2 тыс. га. В лесничествах от гроз в среднем возникает до 4 пожаров в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона – 130 дней.

Лесничества с низкой пожароопасностью от гроз (Ачинское, Боготольское, Емельяновское, Большеулуйское, Иланское, Канское, Красноярское) площадью около 1,1 млн. га, имеют лесистость территорий 38–78 %. Средний класс пожароопасности III,4. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 120 тыс. га. В лесничествах от гроз в среднем возникает до двух пожаров в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 136 дней.

Лесничества с очень низкой пожароопасностью от гроз (Идринское, Козульское, Назаровское, Новоселовское, Рыбинское, Ужурское, Уярское, Шарыповское) занимают площадь около 1,3 млн га. Лесистость территорий 11–78 %. Средний класс пожароопасности III,6. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 99 тыс. га. В лесничествах от гроз в среднем возникает менее одного пожара в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 127–143 дня.

Интегральный показатель района 0,31, опасность возникновения пожаров от гроз низкая. Основной причиной лесных пожаров в районе является хозяйственная деятельность населения.

Алтае-Саянский горно-таежный район площадью 8,4 млн га имеет горный рельеф. Лесистость территории 27–83 %. Насаждения преимущественно кедровые, сосновые и лиственничные. Плотность населе-

ния низкая, леса труднодоступные. Район характеризуется пятнистым распределением гроз, на что влияет горный рельеф местности и экспозиция склона. Среднее число дней с грозой составляет 18–27. Пожары от гроз в основном возникают в июне месяце. В районе выделены лесные территории, имеющие пожарную опасность от гроз от повышенной до очень низкой.

Выделены лесничества с повышенной пожароопасностью от гроз (Саяно-Шушенское и Усинское), площадью 1,7 млн га и лесистостью 70 %. Средний класс пожароопасности III,2. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 212,8 тыс. га (12,4 %). В лесничествах от гроз в среднем возникает до 16 пожаров в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 178 дней.

Лесничества с умеренной пожароопасностью от гроз (Верхнеманское, Даурское, Ермаковское, Ирбейское, Кизирское, Манское, Саянское), площадью 4,2 млн га, имеют лесистость 55–80 %. Средний класс пожароопасности III. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 554,9 тыс. га. В лесничествах от гроз в среднем возникает до 4 пожаров в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 130 дней.

Лесничества с низкой пожароопасностью (Каратузское, Курагинское, Маганское), площадью 2,3 млн га, имеют лесистость 66–83 %. Средний класс пожароопасности III,6. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 78,9 тыс. га. В лесничествах от гроз в среднем возникает не более 3-х пожаров в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 130 дней.

В районе с очень низкой пожарной опасностью возникновения пожаров от гроз выделено одно Балахтинское лесничество, площадью 117 тыс. га. Лесистость территорий 27 %. Средний класс пожароопасности III,7. Насаждений с первым и вторым классами природной пожарной опасности в лесном фонде лесничества не выделено. В лесничестве от гроз в среднем возникает менее 1 пожара в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 143 дня.

Интегральный показатель района 0,36, опасность возникновения пожаров от гроз умеренная.

Алтае-Саянский горно-лесостепной район площадью 157 тыс. га, имеет горный рельеф, преобладают сосна и береза. Плотность населения низкая, леса труднодоступные. Среднее число дней с грозой составляет 20–24. В районе расположены лесничества с повышенной (Минусинское) и очень низкой пожарной опасностью от гроз (Краснотуранское).

Минусинское лесничество с повышенной пожарной опасностью от гроз, площадью 84,6 тыс. га имеет лесистость территорий 53 %. Преобладают насаждения крупнотравно-папоротниковые, травяно-зеленомошные и мертвопокровные. Средний класс пожароопасности – I,8. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 63,4 тыс. га (73,8 %). В лесничестве от гроз в среднем возникает до двух пожаров в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 180 дней.

Краснотуранское лесничество с очень низкой пожарной опасностью от гроз, площадью 73,1 тыс. га, имеет лесистость территорий 14,2 %. Средний класс пожароопасности III,7. К первому и второму классам природной пожарной опасности отнесено 4,6 тыс. га (6,3 %). В лесничестве от гроз в среднем возникает менее одного пожара в год. Средняя продолжительность календарного пожароопасного сезона 127 дней.

Интегральный показатель лесного района 0,34, опасность возникновения пожаров от гроз умеренная.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории Красноярского края ежегодно возникает в среднем более тысячи лесных пожаров. Варьирование числа пожаров по годам и по причинам их возникновения также существенно. Пожары от гроз в большой степени зависят от погодных условий пожароопасного сезона. В последнее десятилетие количество лесных пожаров от гроз возросло и составило в 2018 году 70 % от общего числа пожаров.

В результате проведенных исследований выявлено, что горимость лесов в пределах Красноярского края широко варьирует не только по годам, но и по отдельным лесничествам в зависимости от характера пожароопасного сезона. Неоднородность территории и, как следствие, высокая горимость лесов края объясняется не только географическим положением и освоенностью лесной территории, но и в значительной степени погодными условиями, в том числе грозовой активностью.

Классифицирование территории Красноярского края по степени опасности возникновения лесных пожаров от гроз разработано на основе показателей фактической горимости и факторов, влияющих на возникновение пожаров от гроз, по лесничествам и лесным районам. При классификации использован сравнительный анализ применения весовых коэффициентов и коэффициентов значимости в классификационных геоэкологических моделях.

Представленная классификация территорий лесничеств по степени опасности возникновения лесных пожаров от гроз позволяет планировать работы по охране лесов от пожаров. Так, в лесничествах с высокой и повышенной пожарной опасностью от гроз рекомендуется установка Устройства для определения показателя пожарной опасности в лесу по погодным условиям (Патент № 2810194, 2023) на территориях участков лесничеств и разработка региональных шкал пожарной опасности от гроз по условиям погоды [22]. Особое значение для лесничеств с умеренной, низкой и очень низкой пожарной опасностью от гроз приобретает проведение агитационно-разъяснительной работы с местным населением в весенний период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Coldammer J. G. International Seminar of Forest Fire Prevention and Control in Warsaw // Fire Management Notes. 1982. Vol. 43, № 3. P. 18–21.
2. Wildfires in the Siberian taiga / V. I. Kharuk, E. I. Ponomarev, G. A. Ivanova, M. L. Dvinskaya, S. C. P. Coogan, M. D. Flannigan // Ambio. A Journal of the Human Environment. 2021. Vol. 50, № 11. P. 1953–1974.

3. Иванов В. А., Пономарев Е. И., Иванова Г. А., Мальканова А. В. Грозы и лесные пожары в современных климатических условиях Средней Сибири // Метеорология и гидрология. 2023. № 7. С. 102–113.

4. Динамика и причины лесных пожаров на территории лесных районов Средней Сибири / Г. А. Иванова, В. А. Иванов, А. В. Мусохранова, А. А. Онучин // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 6–16.

5. Российская Федерация. Законы. Лесной кодекс Российской Федерации : Федеральный закон № 200-ФЗ : [принят Государственной думой 8 ноября 2006 года : в редакции от 27.12.2018]. Статья 53.1. Предупреждение лесных пожаров. Текст : электронный // Консультант Плюс : [сайт].

6. Танков Д. А., Танков А. А., Жамурина Н. А. Лесопожарное районирование лесного фонда министерства лесного и охотничьего хозяйства Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета, 2013. № 2 (6) С. 67–74.

7. Матвеев П. М., Филиппов А. В. Особенности профилактики лесных пожаров от гроз // Лесное хозяйство 1985. № 9. С. 56–57.

8. Иванов В. А., Коршунов Н. А., Матвеев П. М. Пожары от молний в лесах Красноярского Приангарья. Красноярск : СибГТУ, 2004. 132 с.

9. Иванов В. А. Иванова Г. А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск : Наука, 2010. 164 с.

10. ИСДМ-Рослесхоз – Открытые данные. [Электронный ресурс]. URL: https://public.aviales.ru/main_pages/public.shtml (дата обращения: 10.11.2024).

11. Софронов М. А., Волокитина А. В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск : Наука. 1990. 204 с.

12. Лохов А. С., Коробов В. Б. Сравнительный анализ применения весовых коэффициентов и коэффициентов значимости в классификационных геоэкологических моделях // Геоэкология. 2022. № 4. С. 81–86.

13. Методы определения весовых коэффициентов. URL: <http://gigabaza.ru/doc/31750.html> (дата обращения: 10.03.2025).

14. Короленко А. В. Методика построения интегральных индексов как инструмент демографического районирования регионов России. // Вопросы территориального развития. 2017. Вып. 4(39). С. 1–18.

15. Коробов В. Б., Кочуров Б. И., Тутыгин А. Г. Методология районирования сложных геолого-экологических объектов экспертно-статистическими методами // Геоэкология. 2020. № 5. С. 42–48.

16. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 4. Природно-климатические изменения / под ред. М. В. Кабанова. Томск : МГП «РАСКО». 2000. 269 с.

17. Справочник по климату СССР. Серия 3. Ч. 1–6. Вып. 21. 1990. 407 с.

18. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / под ред. А. Л. Иванова, С. А. Шоба. М., 2014. 760 с.

19. Телицын Г. П. Определение пожарной опасности на лесной территории. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1989. 23 с.

20. Курбатский Н. П. Основы классификации участков лесного фонда по пожароопасности // Проспект

научно-исследовательских работ для использования в народном хозяйстве. Красноярск : ИЛиД, 1974. Вып. 2. С. 59–61.

21. Буряк Л. В., Котельников Р. В. Краткий справочник эколога-географических, экономических и иных особенностей лесных районов : справочное пособие. Красноярск : ВНИИЛМ, 2022. 52 с.

22. Патент 2810194. Устройство для определения показателя пожарной опасности в лесу по погодным условиям. 2023.

REFERENCES

1. Coldammer J. G. International Seminar of Forest Fire Prevention and Control in Warsaw // Fire Management Notes. 1982. Vol. 43, № 3. P. 18–21.
2. Wildfires in the Siberian taiga / V. I. Kharuk, E. I. Ponomarev, G. A. Ivanova, M. L. Dvinskaya, S. C. P. Coogan, M. D. Flannigan // Ambio. A Journal of the Human Environment. 2021. Vol. 50, № 11. P. 1953–1974.
3. Ivanov V. A., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., and Mal'kanova A. V. Lightning and Forest Fires under Modern Climatic Conditions of Central Siberia // Russian Meteorology and Hydrology, 2023, Vol. 48, No. 7, pp. 630–638. DOI: 10.3103/S1068373923070105
4. Dinamika i prichiny lesnykh pozharov na territorii lesnykh rayonov Srednej Sibiri / G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, A. V. Musoxranova, A. A. Onuchin // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2023, № 6, S. 6–16.
5. Rossijskaya Federaciya. Zakony. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii : Federal'nyj zakon № 200-FZ : [prinyat Gosudarstvennoj dumoj 8 noyabrya 2006 goda : v redakcii ot 27.12.2018]. Stat'ya 53.1. Preduprezhdenie lesnykh pozharov. Tekst : e'lektronnyj // Konsul'tant Plyus : [sajt].
6. Tankov D. A., Tankov A. A., Zhamurina N. A. Lesopozharnoe rajonirovanie lesnogo fonda ministerstva lesnogo i oхotnich'ego хozyajstva Orenburgskoj oblasti // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, 2013. № 2 (6) S. 67–74.
7. Matveev P. M., Filippov A. V. Osobennosti profilaktiki lesnykh pozharov ot groz // Lesnoe хozyajstvo. 1985. No. 9. S. 56–57.
8. Ivanov V. A., Korshunov N. A., Matveev P. M. Pozhary ot molnij v lesax Krasnoyarskogo Priangarya. Krasnoyarsk : SibGTU, 2004. 132 s.
9. Ivanov V. A. Ivanova G. A. Pozhary ot groz v lesax Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 2010. 164 s.
10. ISDM-Roslesxoz – Otkryty'e danny'e [E'lektronnyj resurs]. URL: https://public.aviales.ru/main_pages/public.shtml (data obrashheniya: 10.11.2024).
11. Sofronov M. A., Volokitina A. V. Pirologicheskoe rajonirovanie v taezhnoj zone. Novosibirsk : Nauka. 1990. 204 s.
12. Loxov A. S., Korobov V. B. Sravnitel'nyj analiz primeneniya vesovykh koefficientov i koefficientov znachimosti v klassifikacionnykh geologicheskikh modelyax // Geologiya. 2022. № 4. S. 81–86.
13. Metody opredeleniya vesovykh koefficientov. URL: <http://gigabaza.ru/doc/31750.html> (data obrashheniya: 10.03.2025).
14. Korolenko A. V. Metodika postroeniya integral'nykh indeksov kak instrument demograficheskogo rajonirovaniya regionov Rossii // Voprosy territorial'nogo razvitiya. 2017. Vy'p. 4(39). S. 1–18.
15. Korobov V. B., Kochurov B. I., Tutygin A. G. Metodologiya rajonirovaniya slozhnykh geologicheskikh ob'ektov e'kspertno-statisticheskimi metodami // Geologiya. 2020. № 5. S. 42–48.
16. Regional'nyj monitoring atmosfery. Chast' 4. Prirodno-klimaticheskie izmeneniya / pod red. M. V. Kabanova. Tomsk : MGP «RASKO», 2000. 269 s.
17. Spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Ch. 1–6. Vy'pusk 21. 1990. 407 s.
18. Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0 / pod redakciej A. L. Ivanova, S. A. Shoba. Moskva, 2014. 760 s.
19. Telicyn G. P. Opredelenie pozharnoj opasnosti na lesnoj territorii. Xabarovsk : Dal'NIILX, 1989. 23 s.
20. Kurbatskij N. P. Osnovy klassifikacii uchastkov lesnogo fonda po pozharoopasnosti // Prospekt nauchno-issledovatel'skix rabot dlya ispol'zovaniya v narodnom хozyajstve. Krasnoyarsk : ILiD, 1974. Vy'p. 2. S. 59–61.
21. Buryak L. V., Kotelnikov R. V. Kраткий справочник эколога-географических, экономических и иных особенностей лесных районов : справочное пособие. Krasnoyarsk : VNIILM, 2022. 52 s.
22. Патент 2810194. Устройство для определения показателя пожарной опасности в лесу по погодным условиям. 2023.

© Иванов В. А., Иванова Г. А.,
Пономарев Е. И., Бакшеева Е. О., 2026

Поступила в редакцию 22.09.2025
Принята к печати 20.02.2026

НОРМАТИВ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДИАМЕТРОВ НА ВЫСОТЕ ГРУДИ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ С УЧЁТОМ ФОРМЫ НИЖНЕЙ ЧАСТИ СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ

А. А. Вайс, Д. В. Слесарева, Д. Я. Данилюк

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: vais6365@mail.ru

Аннотация. Проблема необходимости применения специализированных нормативов, учитывающих изменение диаметров в нижней части стволов деревьев, имеет давнюю историю. Переход от диаметров на высоте пня к диаметрам на высоте груди обусловлен, помимо вычисления запаса, различными задачами: восстановление таксационной характеристики древостоя, произрастающего до рубки; приобретение навыков в глазомерном установлении процента запаса и полноты удаленного при рубке древостоя; определение объемов хлыстов и установление среднего диаметра; изучение комлевого сбега; проектирование мероприятий по обработке почвы на вырубках; обоснование и определение конструктивных параметров лесохозяйственных машин и орудий; учета пневого осмола. Актуальность вопроса обусловлена необходимостью унификации данной методологии на основе измерений диаметров нижней части ствола дерева. Для этого поставлена цель, составить методику по унифицированию норматива определения диаметра на высоте груди по диаметру нижней части ствола. На основе данных учённых и собственных исследований для сосновых древостоев построены двухкоэффициентные линейные уравнения, отражающие соотношение диаметров деревьев. В дальнейшем модели преобразованы в однокоэффициентные с делением их на две группы по степени закомелистости: мало-сбежистые и сбежистые. К первой группе относятся сосновые древостои бассейна реки Ангара, среднетаежные сосняки Иркутской области, сосняки Европейского Севера, Сибири и Европейской части России. Вторая группа – это сосновые древостои бассейна реки Ангара. После деления линий на две группы определялась средняя трендовая линия для каждой группы полноразмерности. В результате предлагается норматив определения соотношения диаметра на высоте груди и диаметра нижней части ствола, учитывающих сбежистость деревьев сосны. Уровень применимости таблицы – национальный (Российская Федерация).

Ключевые слова: сосна, норматив, диаметр на высоте груди, диаметр нижней части ствола дерева, уравнение, сбеж дерева.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 61–72

STANDARD FOR RESTORING BREAST-HEIGHT DIAMETERS OF PINE STANDS TAKING INTO ACCOUNT THE SHAPE OF TREE TRUNK

A. A. Vais, D. V. Slesareva, D. Ya. Danylyuk

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: vais6365@mail.ru

Abstract. The need to apply specialized standards that take into account changes in diameters in the lower part of tree trunks has a long history. The transition from diameters at stump height to diameters at breast height is due, in addition to calculating the stock, to various tasks: restoring the taxation characteristics of the forest stand growing before felling; acquiring skills in visually establishing the percentage of the stock and the completeness of the forest stand removed during felling; determining the volume of tree trunks and establishing the average diameter; studying the butt taper; designing soil cultivation measures in clearings; justifying and determining the design parameters of forestry machines and tools; taking into account stump resin. The relevance of the issue is due to the need to unify this methodology based on measuring the diameters of the lower part of the tree trunk. For this purpose, the goal is to develop a methodology for unifying the standard for determining the diameter at breast height based on the diameter of the lower part of the trunk. Based on the data of scientists and their own research on pine stands, two-coefficient linear equations were constructed to convey the ratio of tree diameters. Later, the models were transformed into single-coefficient ones with their division into two groups by the degree of buttock density: slightly tapered and tapered. The first group includes pine stands of the Angara River basin, middle taiga pine forests of the Irkutsk region, pine forests of the European North, Siberia and the European part of Russia. The second group is pine stands of the Angara River basin. After dividing the lines into two groups, the average trend line was determined for each group of tree density. As

a result, a standard is proposed for determining the ratio of the diameter at breast height and the diameter of the lower part of the trunk, taking into account the taper of pine trees. The table applicability level is national (Russian Federation).

Keywords: pine, standard, diameter at breast height, diameter of the lower part of the tree trunk, equation, tree taper.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования динамики таксационных показателей достаточно часто основываются на диаметре дерева на высоте груди ($d_{1,3}$). Это вполне логично и объяснимо, поскольку этот показатель легко измеряется в полевых условиях и для отдельного дерева формирует устойчивые связи с другими показателями – объемом, приростом, высотой и др. Однако в ряде ситуаций непосредственное измерение $d_{1,3}$ невозможно по каким-либо причинам. Например, такие ситуации возникают, когда дерево уже срублено, а требуется установить его объем. В этом случае единственным показателем доступным для измерения становится диаметр дерева на высоте пня (d_n) или у шейки корня (d_0).

Существуют таблицы, позволяющие произвести перерасчет $d_{n,0}$ в $d_{1,3}$ [1]. Однако в этих нормативах не регламентируется, на какой высоте измеряется d_n . Вместе с тем хорошо известно, что форма ствола дерева значительно отличается от формы цилиндра, и особенно существенными эти различия становятся в комлевой части. То есть, чем ниже оставляемый пень, тем больше d_n , и тем выше погрешность определения d_n по $d_{1,3}$. При этом погрешность увеличивается в большую сторону (происходит завышение $d_{1,3}$) и, следовательно, завышение объема дерева и запаса насаждения. Особенно велика погрешность для пород с поверхностной корневой системой и развитой корневой лапой.

Часто на свежих вырубках перед исследователем стоит задача восстановить картину распределения стволов по толщине на высоте груди. При этом единственным показателем, который можно установить на вырубке методом измерения является диаметр пня.

Переход от диаметров на высоте пня к диаметрам на высоте груди обусловлен, помимо вычисления запаса, различными целями: восстановление таксационной характеристики древостоя, произрастающего до рубки; приобретение навыков в глазомерном установлении процента запаса и полноты удаленного при рубке древостоя [2]; определение объемов хлыстов и установление среднего диаметра [3]; изучение комлевого сбega [4]; проектирование мероприятий по обработке почвы на вырубках; обоснование и определение конструктивных параметров лесохозяйственных машин и орудий [5; 6]; учет пневого осмола [7].

В статье Ф. В. Кишенкова, А. А. Соломникова [8] указывается, что основным показателем, используемым в качестве входа для нормативно-справочных материалов, является таксационный диаметр – диаметр на высоте 1,3 метра по причинам указанным выше. Существуют таблицы, разработанные для перехода от диаметра пня к диаметру на высоте древостоя. Однако они не учитывают многообразия факторов, способных значительно влиять на эти показатели. В них не учитывается условия произрастания и высо-

та оставляемого пня. Между тем, ошибки, вызванные различием этих условий, могут быть весьма существенными. Применение таких таблиц оправдано в случае установления объема единичного срубленного дерева, но не при освидетельствовании мест рубок.

Е. В. Сомов, Н. В. Выводцев, Е. В. Авдеева, А. А. Савчук применительно к городским насаждениям сосны города Хабаровска, пришли к выводу, что высота пня должна учитываться при разработке моделей восстановления диаметра ствола. Это позволяет значительно повысить степень достоверности результатов [9].

Е. А. Ануев, С. С. Ступников, Д. О. Мартынова отмечали, что в настоящее время острой проблемой в лесном хозяйстве Российской Федерации являются незаконные рубки [10].

В статье Ю. В. Марухленко, В. Н. Михальчук [11] авторы указывают, что с резким увеличением количества правонарушений, связанных с незаконной рубкой, возникает необходимость в более точном определении объемов нанесенного ущерба. В настоящее время при оценке воздействия незаконных рубок применяются обычно таблицы сбega по породам. Но в большинстве случаев, в связи с отсутствием данных таблиц, объем незаконно срубленной древесины определяется с использованием диаметра пня (d_n). И, как следствие, некорректная оценка причиненного экономического ущерба. Установление указанной зависимости создаёт возможность с достаточной точностью по d_n определить $d_{1,3}$ [11].

В своих исследованиях Ю. В. Марухленко, В. Н. Михальчук установили, что в березовых и осиновых насаждениях Омской области по всем группам полнот значения диаметров на высоте груди практически совпадают. Авторами составлены таблицы зависимостей диаметров осины и березы пригодные для использования при определении ущерба от незаконных рубок.

Ряд исследователей отмечают, что основным направлением применения таблиц перехода от диаметров на высоте пня к диаметрам на высоте груди – это восстановление срубленного запаса [12]. Для лесов Сибири необходимо разрабатывать местные таблицы соотношения диаметров на высоте груди и диаметров нижней части ствола для каждого лесного района [13–15].

Е. А. Уссом разработаны таблицы перевода диаметра дерева на высоте пня к диаметру на высоте груди для основных лесобразующих пород Беларуси (сосна, ель, дуб, осина, береза и ольха черная), а также методика их практического применения, которая позволяет определить объемы стволов вырубленного древостоя с точностью $\pm 15\%$ для совокупности лесосек [16]. Анализ восстановления запаса на вырубках показал, что ошибка восстановления запасов сосновых древостоев лежит в пределах от $-2,8$

до +8,6 %, то есть не превышает допустимой погрешности 10 % [17].

Для деревьев сосны в условиях Кызыльского лесничества Республики Тыва составлена местная нормативная таблица определения диаметров на высоты груди по диаметрам на высоте пня. Сделан вывод, что для правильного определения штрафных санкций необходимо использовать местные разработанные нормативы, которые в большей мере соответствуют условиям произрастания района [18; 19].

На практике наибольшее распространение получили следующие методы перевода диаметра пня на уровень груди для последующего использования сортиментных таблиц это:

- снижение диаметра пня на одну 4-х сантиметровую ступень;
- определение закономерностей перехода эмпирическим путем;
- использование таблиц диаметров стволов на высоте 1,3 м в зависимости от диаметра пня. Все способы имеют как свои преимущества, так и недостатки.

В своих предыдущих статьях мы предлагали использовать упрощённые однокоэффициентные регрессионные линейные уравнения, характеризующие соотношение диаметров стволов на высоте пня и на высоте груди и при вычислении запасов насаждений сосны для различных районов Сибири [20–22].

В статье А. А. Вайса, И. А. Воробьева [23] отмечается, что восстановление запаса срубленного леса требует наличия достоверных данных о форме нижней части деревьев в спелых насаждениях. К сожалению, сведения о форме стволов в лесах Сибири носят ограниченный и фрагментарный характер. На основе изучения формы нижней части деревьев основных древесных пород Сибири выявлен ряд закономерностей. Древесные породы Сибири характеризуются значительной и большой изменчивостью нулевого коэффициента формы (q_0). По степени закомелистости их можно расположить в следующем порядке: сосна, лиственница, пихта, берёза, ель. С увеличением среднего возраста сбежистость нижней части стволов возрастает у сосны, лиственницы и уменьшается у берёзы, ели и пихты [23; 24].

В настоящее время согласно постановлению Правительства РФ от 29 декабря 2018 г. № 1730 «Особенности возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» и постановлению Правительства РФ от 18 декабря 2020 г. № 2164 «Внесение изменений в приложение № 4 «к особенностям возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» при отсутствии незаконно срубленных деревьев объем древесины определяется с использованием диаметра пня (d_n) вместо диаметра на высоте груди ($d_{1,3}$) [25]. Данное Постановление является достаточно спорным как с правовой, так и с лесохозяйственной точки зрения. Не вдаваясь в подробности можно констатировать, что расчет ущерба вызывает вопросы у лесопользователей

и арендаторов, поскольку некорректно определяется объем первичного объекта – дерева.

Актуальность вопроса истинного и достоверного восстановления запаса древесины обусловлена необходимостью унификации данной методологии на основе измерений диаметров нижней части стволов. Для этого поставлена цель, составить методику по унификации норматива определения диаметра на высоте груди по диаметру нижней части ствола сосны.

Данная цель определила необходимость постановки и решения основных задач:

- провести анализ нормативов по восстановлению диаметров на высоте груди;
- преобразовать двухкоэффициентные уравнения в однокоэффициентные регрессии;
- установить закономерности однокоэффициентных уравнений;
- определить соотношение диаметров нижней части и диаметров на высоте груди по нормативным данным;
- представить оценку применимости нормативов по восстановлению диаметров на высоте груди.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлись сосновые древостой. Диаметр на высоте груди (*diameter at breast height – DBH*) и высота (*height – h*) дерева являются одними из наиболее важных таксационных показателей, применяемых в лесном хозяйстве. Для перехода от диаметров пней к диаметрам на высоте груди необходимо использовать специальные нормативы (таблицы).

Впервые эти нормативы составлены В. Е. Шульцом в 1938 г [2]. Первый вариант таблицы служит для восстановления таксационной характеристики древостоя бывшего до рубки и затем пройденного выборочной (или иной) рубкой, с целью приобрести навыки в глазомерном определении: процента запаса удаленного при рубке бывшего в тот момент древостоя, полноты запаса бывшего до рубки древостоя и сопоставлении с оставшимся древостоем. Для составления таблицы производят на высоте 20–25 см от шейки корня пересчет пней по 2 см ступеням таблицы.

Важным обстоятельством является нижняя точка, которая является «плавающей», а с учётом высокой закомелистости ряда древесных пород, диаметр на высоте пня и диаметр у шейки корня может в значительной степени отличаться. Некоторые авторы, для унификации используют относительную точку 0,01 [26]. Для оценки степени различия составим таблицу месторасположения нижней точки ствола (табл. 1).

Наблюдается определённые различия в месте расположения нижних точек, что может сказываться на коэффициентах, используемых при составлении нормативов, особенно, имея в виду, наличие высокой закомелистости ствола в его нижней части. Этот фактор возможно и сказывается на наличие различий в форме нижней части дерева, помимо породного состава и условий местопроизрастания.

Таблица 1
Оценка расположения нижней точки ствола дерева

Наименование	Высота расположения нижней точки ствола дерева				
d_0 , см	точка перехода шейки корня в ствол				
d_n , см	не более 1/3 диаметра на высоте груди				
	12	24	36	48	60
	4	8	12	16	20
$d_{0,01}$, см	высота дерева, м				
	10	15	20	25	30
	10	15	20	25	30

В данной статье использовались нормативы по восстановлению диаметров на высоте груди следующих авторов.

– Северо-восток европейской части СССР. Данные представлены из лесотаксационного справочника северо-востока Европейской части СССР и древостоев северной и средней подзон тайги. Установлено, что у сосны с ростом диаметра у шейки корня нулевой коэффициент формы уменьшался с 1,57 до 1,26 [27].

– А. А. Вайс – сосновые древостои на границе лесостепной и южно-таёжных зон Средней Сибири. Данные автора представлены в лесотаксационном справочнике для южно-таежных лесов Средней Сибири [28].

– Б. Н. Тихомиров, сосновые древостои бассейна реки Ангара. Нормативы построены на основе данных 9986 деревьев с 51 пробной площади. Типологическая представленность следующая: сосняк-брусничник, сосняк-черничник, сухой бор и бор разнотравный. Большая часть пробных площадей представлена одновозрастными древостоями (варьирование возраста деревьев 20–30 лет) со средним возрастом древостоев от 102 до 255 лет. Объемные и сбеговые таблицы построены по трем разрядам высот. Элементарный расчет по нулевому коэффициенту формы (d_0) показал, что деревья характеризовались очень высокой полнотой, низкой закомелистостью стволов (изменчивость от 1,00 до 1,22) [29].

– А. П. Серяков, среднетаежные сосняки Иркутской области [5]. Проводя исследования по сырьевым ресурсам пневого осмола на вырубках среднетаежных сосняков Иркутской области, разработал таблицу выхода соснового пневого осмола. В основу норматива положены данные пробных площадей и обмера 6072 пней. Типологическая представленность следующая: сосняк-брусничник, сосняк-разнотравный. На основе значений норматива получена результирующая зависимость [7].

– Н. В. Третьяков, сосна Европейский Север и Сибири. В «Справочнике таксатора» Н. В. Третьякова, П. В. Горского, Г. Г. Самойловича приведены таблицы В. Е. Шульца соотношений диаметров на высоте груди и диаметров на высоте 20–25 см от шейки корня (пень). Для сосны Европейского Севера и Сибири изменчивость 1,13–1,27 [2].

– Н. Ф. Каплина, В. Ф. Лебков, q_2 – Сосна (численные сосняки Центрального района европейской части России – 25–78 лет, смешанные сосновые древостои Европейского Севера (Архангельская область 120–332 лет). В. Ф. Лебков, Н. Ф. Каплина предложили универсальную таблицу сбегов стволов с двумя входами

по q_2 и d на основе образующей функции Вейбулла. Авторы исходили из единства формы стволов, поэтому разделение по породам не предусматривалось. Соотношение $d_{1,3}/d_{0,01}$ показало уменьшение нулевого коэффициента формы с возрастанием диаметров [26].

Двухкоэффициентные регрессионные модели, по данным авторов, для определения диаметра на высоте груди по диаметру пня, шейки корня и на высоте 0,01 деревьев сосны $d_{1,3} = f(d_n)$, $d_{1,3} = f(d_0)$, $d_{1,3} = f(d_{0,01})$ представлены в табл. 2. Таблица отражает следующие данные:

- район исследования;
- двухкоэффициентные уравнения;
- оценка уравнения по коэффициенту детерминации (R^2), который показывает долю влияния входной переменной и имеет максимальное значение 0,99;
- особенности исходного материала, которые подразделяются по типу леса, разряду, возрасту, высоте и полноте.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Преобразование двухкоэффициентных уравнений в однокоэффициентные регрессии выполнялось с помощью программы «Excel» (таблица 3).

Для получения однокоэффициентных уравнений применялся следующий алгоритм:

1 шаг. На полученных графиках двухкоэффициентных регрессионных моделях нажимаем правой кнопкой мыши и выбираем команду «Добавить линию тренда».

2 шаг. Выбираем линейную регрессию, указывая следующие параметры: пересечение кривой с осью Y в точке 0,0; показывать уравнение на диаграмме; поместить на диаграмму величину коэффициента детерминации (R^2).

3 шаг. Получены однокоэффициентные уравнения (табл. 3).

Для выявления закономерностей в регрессионных линиях для связей однокоэффициентных уравнений построен график, отражающий данную связь, который представлен на рис. 1. Диаграмма показывает, что форма линий имеет веерный характер, чем больше диапазон диаметра нижней части ствола, тем больше разность диаметров на высоте груди.

Линии регрессии можно разделить на две группы:

- деревья с **малосбежистой формой**, коэффициент уравнения равен 0,900 и выше ($a \geq 0,900$);
- деревья **сбежистой формой**, коэффициент уравнения меньше 0,900 ($a < 0,900$).

В результате оказалось, что к первой группе относятся сосновые древостои бассейна реки Ангары, среднетаежные сосняки Иркутской области, сосняки Европейского Севера, Сибири и Европейской части России. К второй группе относятся сосновые древостои бассейна реки Ангары.

После деления линий на две группы определялась средняя трендовая линия для каждой группы полнодревесности.

Следующей задачей являлось определение, насколько отличается друг от друга средний коэффициент данных групп сбежистости, для этого использовался критерий Стьюдента [30].

$$t_{\text{ст}} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ст}}$ – критерий Стьюдента; $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$ – средние значения коэффициента 1 и 2 группы; m_1 , m_2 – основные ошибки средних показателей 1 и 2 групп.

Для автоматизации данного процесса применялась программа для работы с электронными таблицами «Excel». С целью выполнения дисперсионного анализа коэффициентов с помощью пакета «Анализа данных» использовали двухвыборочный t -тест с различными дисперсиями.

Таблица 2

Двухкоэффициентные регрессионные модели для определения диаметра на высоте груди по диаметру пня и шейки корня и 0,01Н деревьев сосны $d_{1,3} = f(d_n)$, $d_{1,3} = f(d_0)$, $d_{1,3} = f(d_{0,01})$ (фрагмент)

Район исследования	Вид модели	Коэффициент детерминации, R^2	Лимит входной переменной	Особенности
Северо-восток европейской части СССР	$D_{1,3} = 0,833 \cdot D_0 - 3,0996$	0,99	16-76	–
Восточные Саяны	$D_{1,3} = 0,60 \cdot D_n - 0,1$	0,99	1-8	Молодняки (100 моделей).
Бассейн р. Ангара	$D_{1,3} = 0,869 \cdot D_n - 1,59$	0,99	14-79	I разряд тах. Возраст 100–255 лет. Тип леса (сосняк-брусничник, сосняк-черничник, сухой бор, бор разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,949 \cdot D_n - 0,88$	0,99	13-72	I разряд min. Возраст 100–255 лет. Тип леса (сосняк-брусничник, сосняк-черничник, сухой бор, бор разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,819 \cdot D_n + 0,36$	0,99	14-78	II разряд тах. Возраст 100–255 лет. Тип леса (сосняк-брусничник, сосняк-черничник, сухой бор, бор разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,949 \cdot D_n - 0,88$	0,99	12-72	II разряд min. Возраст 100–255 лет. Тип леса (сосняк-брусничник, сосняк-черничник, сухой бор, бор разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,820 \cdot D_n + 0,46$	0,99	14-68	III разряд тах. Возраст 100–255 лет. Тип леса (сосняк-брусничник, сосняк-черничник, сухой бор, бор разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,886 \cdot D_n + 1,33$	0,99	12-62	III разряд min. Возраст 100–255 лет. Тип леса (сосняк-брусничник, сосняк-черничник, сухой бор, бор разнотравный)
Среднетаежные сосняки Иркутской области	$D_{1,3} = 0,870 \cdot D_n - 0,52$	0,99	19-70	Тип леса (сосняк-брусничник, сосняк-разнотравный)
Европейский Север и Сибирь	$D_{1,3} = 0,869 \cdot D_n - 1,01$	0,99	8-72	–
	$D_{1,3} = 0,896 \cdot D_n - 0,82$	0,99	10-84	–
Сосняки Европейской части России	$D_{1,3} = 0,928 \cdot D_n - 0,73$	0,99	22-56	Сосна I типа. Возраст 65–90 лет. Высота 25,2–29,4 м

Окончание табл. 2

Район исследования	Вид модели	Коэффициент детерминации, R^2	Лимит входной переменной	Особенности
Центральный район европейской части России, Европейский Север (Архангельская область)	$d_{1,3} = 0,942 \cdot d_{0,01} - 2,15$	0,99	10-87	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,55
	$d_{1,3} = 0,965 \cdot d_{0,01} - 1,78$	0,99	9-84	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,6
	$d_{1,3} = 0,970 \cdot d_{0,01} - 1,46$	0,99	9-84	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,65
	$d_{1,3} = 0,964 \cdot d_{0,01} - 1,25$	0,99	9-84	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,7
	$d_{1,3} = 0,949 \cdot d_{0,01} - 1,07$	0,99	9-85	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,75

Таблица 3

Однокоэффициентные регрессионные модели для определения диаметра на высоте груди по диаметру пня, шейки корня и $0,01H$ деревьев сосны $d_{1,3} = f(d_{пн}, d_0, d_{0,01})$

Район исследования	Вид модели	Оценка уравнения R^2	Значение входной переменной	Особенности
Северо-восток европейской части СССР	$D_{1,3} = 0,7714 \cdot D_0$	0,9934	16-76	–
Восточные Саяны	$D_{1,3} = 0,5819 \cdot D_{пн}$	0,9989	1-8	Молодняки (100 моделей).
Бассейн р. Ангара	$D_{1,3} = 0,8419 \cdot D_{пн}$	0,9885	14-79	I разряд тах. Возраст 100–255 лет. Тип леса (брусничник, черничник, сухой бор, разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,9326 \cdot D_{пн}$	0,9909	13-72	I разряд мин. Возраст 100–255 лет. Тип леса (брусничник, черничник, сухой бор, разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,8253 \cdot D_{пн}$	0,9996	14-78	II разряд тах. Возраст 100–255 лет. Тип леса (брусничник, черничник, сухой бор, разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,9002 \cdot D_{пн}$	0,9985	12-72	II разряд мин. Возраст 100–255 лет. Тип леса (брусничник, черничник, сухой бор, разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,8292 \cdot D_{пн}$	0,9998	14-68	III разряд тах. Возраст 100–255 лет. Тип леса (брусничник, черничник, сухой бор, разнотравный)
	$D_{1,3} = 0,917 \cdot D_{пн}$	0,9983	12-62	III разряд мин. Возраст 100–255 лет. Тип леса (брусничник, черничник, сухой бор, разнотравный)
Среднетаежные сосняки Иркутской области	$D_{1,3} = 0,8591 \cdot D_{пн}$	0,9998	19-70	Тип леса (брусничники, разнотравные)
Европейский Север и Сибирь	$D_{1,3} = 0,8485 \cdot D_{пн}$	0,9992	8-72	–
	$D_{1,3} = 0,8485 \cdot D_{пн}$	0,9991	10-84	–
Сосняки Европейской части России	$D_{1,3} = 0,8509 \cdot D_{пн}$	0,9897	22-56	Сосна 1 типа. Возраст 65–90 лет. Высота 25,2–29,4 м

Окончание табл. 3

Район исследования	Вид модели	Оценка уравнения R^2	Значение входной переменной	Особенности
Центральный район европейской части России, Европейский Север (Архангельская область)	$D_{1,3} = 0,9058 \cdot d_{0,01}$	0,998	10-87	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,55
	$D_{1,3} = 0,9345 \cdot d_{0,01}$	0,9986	9-84	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,6
	$D_{1,3} = 0,9446 \cdot d_{0,01}$	0,9991	9-84	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,65
	$D_{1,3} = 0,942 \cdot d_{0,01}$	0,9993	9-84	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,7
	$D_{1,3} = 0,9306 \cdot d_{0,01}$	0,9995	9-85	Чистые сосняки (возраст 25–78 лет), смешанные сосновые древостои (возраст 120–332 лет). Полнота 0,75

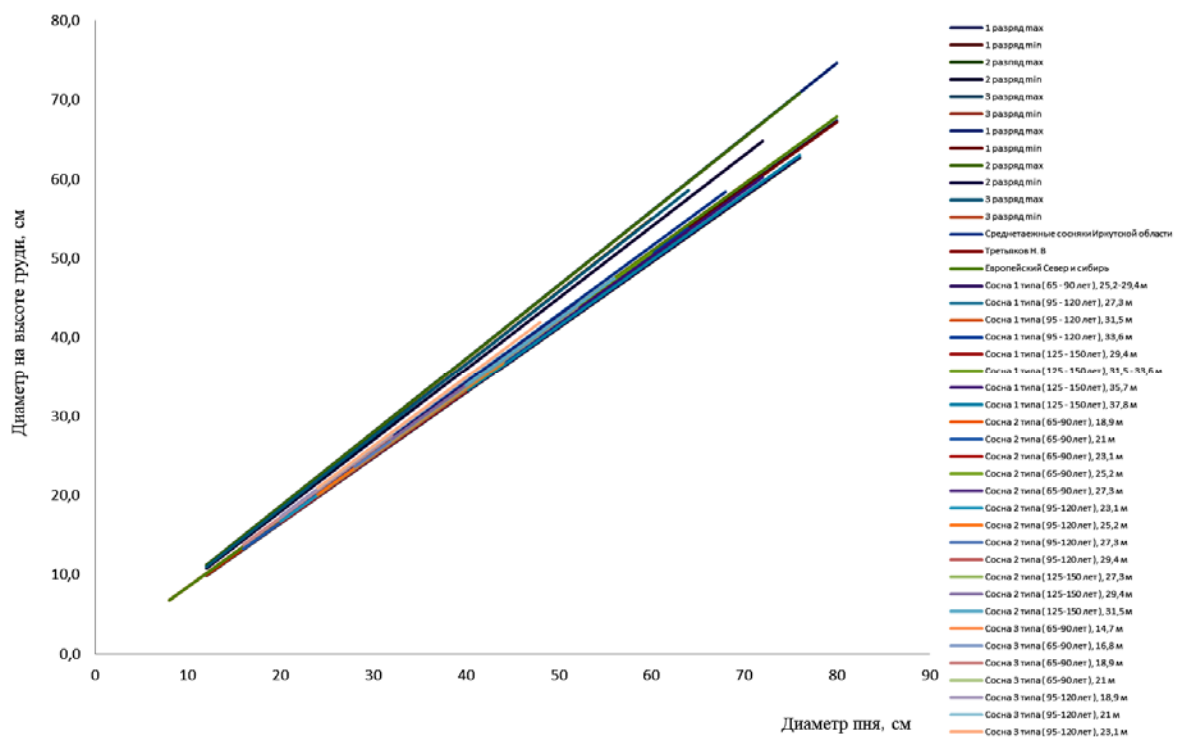


Рис. 1. Зависимость диаметра на высоте груди от диаметра нижней части ствола дерева

Получена таблица дисперсионного анализа (табл. 4).

Согласно данным таблицы коэффициент уравнения сбежистой формой равен 0,845, а малосбежистой формой равен 0,922.

На степень различия коэффициента указывает критерий Стьюдента. Если $t_{\phi} \geq t_{\text{таб}}$, тогда делается вывод, что различие между средними величинами являются существенными, достоверными.

Поскольку $t_{\phi} \geq 2,4$, различие сбежистой группы и малосбежистой группы являются существенными.

Уравнения, отражающие линии регрессии данных групп представлены в табл. 5.

Интервалы однокоэффициентных уравнений:

- сбежистой группы (0,825–0,874);
- малосбежистой группы (0,900–0,933).

В результате построен норматив определения соотношения диаметра на высоте груди и диаметра нижней части ствола с учетом сбежистости деревьев (табл. 6). Необходимо отметить, что наличие фактора степени полндревесности ствола обусловлено, в том числе и точкой измерения нижней части ствола дерева.

Таблица 4
Дисперсионный анализ коэффициентов a_1 и a_2

	Коэффициент 1	Коэффициент 2
Среднее	0,845	0,922
Дисперсия	0,0002	0,0002
Наблюдения	36	6
Гипотетическая разность средних величин	0	–
df	7	–
t-статистика	–13,1	–
P(T ≤ t) одностороннее	0,000002	–
t критическое одностороннее	1,9	–
P(T ≤ t) двухстороннее	0,000004	–
t критическое двухстороннее	2,4	–

Таблица 5
Деление однокоэффициентных уравнений по группам и районам исследования (фрагмент)

Район исследования	Сбежистая группа	Район исследования	Малосбежистая группа
	$d_{1,3} = 0,845 \cdot d_n$		$d_{1,3} = 0,922 \cdot d_n$
Бассейн р. Ангара	0,842	Бассейн р. Ангара	0,933
Бассейн р. Ангара	0,825	Бассейн р. Ангара	0,900
Бассейн р. Ангара	0,829	Бассейн р. Ангара	0,917
Бассейн р. Ангара	0,840	Бассейн р. Ангара	0,933
Бассейн р. Ангара	0,826	Бассейн р. Ангара	0,932
Бассейн р. Ангара	0,830	Бассейн р. Ангара	0,916
Среднетаежные сосняки Иркутской области	0,859	–	–
Европейский Север и Сибирь	0,848	–	–
Европейский Север и Сибирь	0,849	–	–
Сосняки Европейской части России	0,851	–	–
	0,839	–	–
	0,845	–	–
	0,841	–	–
	0,843	–	–
	0,846	–	–
	0,837	–	–
	0,829	–	–
	0,834	–	–
	0,830	–	–
	0,829	–	–
	0,835	–	–
	0,838	–	–
	0,836	–	–
	0,838	–	–
	0,843	–	–
	0,846	–	–
	0,844	–	–
	0,847	–	–
	0,849	–	–
	0,862	–	–
	0,861	–	–
	0,863	–	–
	0,870	–	–
	0,869	–	–
	0,872	–	–
	0,874	–	–

Таблица 6
Нормативная таблица зависимости диаметров на высоте груди от диаметров
нижней части ствола для сосновых древостоев

Диаметр нижней части ствола дерева, см	Диаметр на высоте груди, см		Разница, см
	малосбежистая группа	сбежистая группа	
8	7,4	6,8	0,6
12	11,1	10,1	0,9
16	14,7	13,5	1,2
20	18,4	16,9	1,5
24	22,1	20,3	1,8
28	25,8	23,7	2,2
32	29,5	27	2,5
36	33,2	30,4	2,8
40	36,9	33,8	3,1
44	40,6	37,2	3,4
48	44,2	40,6	3,7
52	47,9	43,9	4,0
56	51,6	47,3	4,3
60	55,3	50,7	4,6
64	59,0	54,1	4,9
68	62,7	57,5	5,2
72	66,4	60,8	5,5
76	70,1	64,2	5,8
80	73,7	67,6	6,1
84	77,4	71	6,5
88	81,1	74,4	6,8
92	84,8	77,7	7,1
96	88,5	81,1	7,4
100	92,2	84,5	7,7
104	95,9	87,9	8,0
108	99,6	91,3	8,3
112	103	94,6	8,6
116	107	98	8,9
120	111	101	9,2

В соответствии с нормативом предполагается определение диаметра на высоте груди по диаметру нижней части ствола.

Пример использования норматива следующий. На лесосеке измерили диаметры деревьев сосны, прилегающие к вырубке.

- диаметр на высоте груди равен 24 см;
- диаметр на высоте пня равен 27,1 см.

После измерения определили соотношение диаметра на высоте груди и диаметра на нижней точке ($d_{1,3}/d_n$), получили значение – 0,886. Критерием различия сбежистой и малосбежистой формы является коэффициент 0,900. Так как $0,886 < 0,900$, дерево относится к сбежистой группе. На основании полученного значения, можно сделать вывод, что при восстановлении диаметра на высоте груди по диаметру на высоте пня необходимо использовать норматив для сбежистой группы деревьев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных расчётов получены следующие выводы.

– К диаметру нижней части ствола дерева отнесен: диаметр у шейки корня, диаметр на высоте пня и диаметр на 0,01 высоты дерева. Нижняя точка и степень закомелистости дерева определяет группу норматива по форме ствола.

– Преобразованы двухкоэффициентные уравнения в однокоэффициентные регрессии;

– Выявлены закономерности однокоэффициентных уравнений, на основании которых установлено, что линии имеют всеерный характер, чем больше диапазон диаметров нижней части ствола, тем больше разность в диаметрах на высоте груди. Линии регрессии можно разделить на две группы: деревья с малосбежистой формой, коэффициент уравнения равен 0,900 и выше ($a \geq 0,900$); деревья сбежистой формой, коэффициент уравнения меньше 0,900 ($a < 0,900$);

– С учётом сбежистости построен норматив для определения соотношения диаметра на высоте груди и диаметра нижней части ствола.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анучин Н. П. Сортиментные и товарные таблицы : справочник. Текст: непосредственный //: 7-е изд. перераб. и доп. Москва, 1981. 535 с.
2. Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г. Таблицы для таксации леса. Текст: непосредственный // Справочник таксатора. Гослесбумиздат, 1952. 853 с.
3. Фалалеев Э. Н. Пихтовые леса Сибири и их комплексное использование. Москва : Лесн. пром-сть, 1964. 189 с. Текст: непосредственный.
4. Гусев И. И. Форма древесных стволов ели Европейского Севера и ее математическая модель.

Текст: непосредственный // Лесная таксация и лесоустройство : межвуз. сб. науч. тр. по лесн. хоз-ву. Красноярск, 1975. С. 3–10.

5. Марцинковский Л. А. О зависимости между диаметрами деревьев лиственницы на высоте пня и на высоте груди. Текст: непосредственный // Лиственница : сб. науч. тр. Красноярск, 1964. № 39. С. 15–17.

6. Титаренко Ю. А. Определение некоторых параметров пней на вырубках горных дубрав. Текст : непосредственный // Молодые ученые к юбилею ин-та : тр. науч. конф. Москва : ВНИИ лесоводства и механиз. лесн. хоз-ва. Деп. в ЦБНТИ лесхоз от 23 дек. 1983 г. № 263 лх-83.

7. Серяков А. П. Сырьевые ресурсы пневого осмола и их таксация на вырубках среднетаежных сосняков Иркутской области. Красноярск, 1987. 20 с. Текст: непосредственный.

8. Кишенкова Ф. В., Соломникова А. А. Исследование закономерности перехода от диаметра пня к диаметру на высоте груди. Текст: непосредственный // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 23. С. 27–31.

9. Сомов Е. В., Выводцев Н. В., Савчук А. А. К вопросу определения диаметра ствола на высоте 1,3 м по диаметру пня при расчете ущерба от нелегальной рубки деревьев сосны обыкновенной на территории г. Хабаровска. Текст: непосредственный // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск : БГИТА, 2009. Вып. 22. С. 179–182.

10. Ануев Е. А., Ступников С. С., Мартынова Д. О. Коэффициент формы пня сосны в условиях Больше-муртинского лесничества. Текст: непосредственный // Эпоха науки. 2018. № 15. С. 107–109.

11. Марухленко Ю. В., Михальчук В. Н. Исследование зависимости диаметра на высоте груди (1,3 м) от диаметра пня. Текст: непосредственный // ГЕО-Сибирь : сб. материалов III Междунар. конгресса. Новосибирск, 2007. Т. 2, ч. 2. С. 239–244.

12. Вайс А. А. Восстановление срубленного запаса древостоя. Текст : непосредственный // Научный журнал КраГАУ. 2009. № 45(1). С. 1–10.

13. Вайс А. А. Закономерности связи диаметров деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на высоте груди и на высоте пня в условиях Средней Сибири. Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. 2012. № 50. С. 43–48.

14. Вайс А. А. Нормативы для определения запасов вырубленных древостоев по пням в условиях Сибири. Текст : непосредственный // Лесной журнал. 2011. № 4. С. 24–28.

15. Вайс А. А. Связь диаметров нижней части деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири. Текст: непосредственный // Лесная таксация и лесоустройство : междунар. науч.-практ. журн. 2011. № 1-2(45-46). С. 29–32.

16. Усс Е. А. К вопросу определения запасов вырубленной древесины на лесосеке по пням. Текст: электронный // URL: http://science-bsea.narod.ru/2012/les_2012/uss_vopros.htm. (дата обращения: 14.11.2021).

17. Бачек А. И., Вайс А. А. Восстановление запаса по данным измерений пней сосны в условиях Иркут-

ской области. Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. 2014. № 1(15). С. 40–42.

18. Седембиль Ш. А., Вайс А. А. Соотношение диаметров на высоте груди и на высоте пня в условиях Кызылского лесничества. Текст: непосредственный // Молодежь и наука. 2017. № 1. С. 74.

19. Абдуллаева Н. А., Хайров И. Х. К вопросу исследования закономерностей перехода от диаметра пня дерева к диаметру на высоте груди. Текст: непосредственный // I национальная конференция по итогам научной и производственной работы преподавателей и студентов в области ландшафтной архитектуры и лесного дела. Саратов, 2019. С. 3–7.

20. Вайс А. А. Упрощенный метод определения диаметров нижней части деревьев сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири. Текст: непосредственный // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2012. С. 31–35.

21. Вайс А. А. Нормативы для восстановления срубленных запасов сосновых древостоев (*Pinus Sylvestris* L.) в условиях Средней Сибири. Текст: непосредственный // Вестник КрасГАУ. 2009. № 11(38). С. 136–140.

22. Вайс А. А., Воробьева И. А. Форма нижней части деревьев основных лесобразующих пород Сибири. Текст : непосредственный // Хвойные бореальной зоны. 2015. № 1-2. С. 7–12.

23. Вайс А. А., Воробьева И. А. Методические подходы к изучению соотношения диаметров деревьев на высоте 1,3 метра и на высоте пня. Текст: непосредственный // Лесная таксация и лесоустройство. 2015. № 1(52). С. 16–19.

24. Селиванов Ю. В. Соотношение диаметров на высоте пня и на высоте груди в сосновых молодняках учебно-опытного лесхоза. Текст: непосредственный // Лесная таксация и лесоустройство : межвуз. сб. науч. тр. Красноярск, 1973. С. 221–224.

25. Правительство Российской Федерации. Постановление. Особенности возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства с изменениями на 18 декабря 2020 года : Постановление № 1730 : утв. постановлением Правительства Российской Федерации 29 декабря 2018 года. Москва: Кодекс, 2018. Текст: непосредственный.

26. Лебков В. Ф., Каплина Н. Ф. Сбег древесных стволов различной формы по относительным высотам. Текст: непосредственный // Лесная таксация и лесоустройство : междунар. науч.-практ. журн. Красноярск, 2003. № 1. С. 55–59.

27. Войнов Г. С., Чупров Н. П., Ярославцев С. В. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР (Нормат. материалы для Арханг., Вологод. обл. и Коми АССР). Архангельск : АИЛИХ, 1986. 356 с.

28. Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири / С. Л. Шевелев, В. В. Кузьмичев, Н. П. Павлов, А. С. Смольянов. Москва : ВНИИЛМ, 2002. 166 с. Текст: непосредственный.

29. Тихомиров Б. Н. Таблицы для таксации сосновых древостоев бассейна р. Ангары / Б. Н. Тихомиров. Текст: непосредственный // Тр. Сибир. лесотехн. ин-та. Вып. VII. Красноярск, 1967. С. 113–133.

30. Лакин, Г.Ф. Биометрия : учебное пособие. М. : Высш. шк., 1990. 350 с.

REFERENCE

1. Anuchin N. P. Sortimentny'e i tovarny'e tablicy. Tekst : neposredstvenny'j // Spravochnik: 7-e izdanie pererabotannoe i dopolnennoe. Moskva, 1981. 535 s.

2. Tret'yakov N. V., Gorskij P. V., Samojlovich G. G. Tablicy dlya taksacii lesa. Tekst : neposredstvenny'j // Spravochnik taksatora. Goslesbumizdat, 1952. 853 s.

3. Falaleev, E'. N. Pixtovy'e lesa Sibiri i ix kompleksnoe ispol'zovanie. Moskva : Lesnaya promyshlennost', 1964. 189 s. Tekst : neposredstvenny'j.

4. Gusev I. I. Forma drevesny'x stvolov eli Evropejskogo Severa i ee matematicheskaya model'. Tekst : neposredstvenny'j // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo : mezhvuz. sb. nauch. tr. po lesn. xoz-vu. Krasnoyarsk, 1975. S. 3–10.

5. Marcinkovskij L. A. O zavisimosti mezhdu diametrami drev'ev listvennicy na vy'sote pnya i na vy'sote grudi. Tekst : neposredstvenny'j // Listvennicza : sb. nauch. tr. Krasnoyarsk, 1964. № 39. S. 15–17.

6. Titarenko Yu. A. Opredelenie nekotory'x parametrov pnej na vy'rubkax gornyx dubrav. Tekst: neposredstvenny'j // Molody'e ucheny'e k yubileyu in-ta : tr. nauch. konf. Moskva : VNIIsosovodstva i mexaniz. lesn. xoz-va. Dep. v CzBNTIlesxoz ot 23 dek. 1983 g. № 263 lx-83.

7. Seryakov A. P. Sy'r'evy'e resursy' pnevogo osmola i ix taksaciya na vy'rubkax srednetazhny'x sosnyakov Irkutskoj oblasti. Krasnoyarsk, 1987. 20 s. Tekst : neposredstvenny'j.

8. Kishenkova F. V., Solomnikova A. A. Issledovanie zakonornosti perexoda ot diametra pnya k diametru na vy'sote grudi. Tekst : neposredstvenny'j // Aktual'ny'e problemy' lesnogo kompleksa. 2009. № 23. S. 27–31.

9. Somov E. V., Vy'vodcev N. V., Savchuk A. A. K voprosu opredeleniya diametra stvola na vy'sote 1,3 m po diametru pnya pri raschete ushherba ot nelegal'noj rubki drev'ev sosny' oby'kvennoj na territorii g. Xabarovska. Tekst : neposredstvenny'j // Aktual'ny'e problemy' lesnogo kompleksa. Bryansk : BGITA, 2009. Vy'p. 22. S. 179–182.

10. Anuev E. A., Stupnikov S. S., Marty'nova D. O. Koefficient formy' pnya sosny' v usloviyax Bol'shemurtinskogo lesnichestva. Tekst : neposredstvenny'j // E'poxa nauki. 2018. № 15. S. 107–109.

11. Maruxlenko Yu. V., Mixal'chuk V. N. Issledovanie zavisimosti diametra na vy'sote grudi (1,3 m) ot diametra pnya. Tekst : neposredstvenny'j // GEO-Sibir : sbornik materialov III mezhdunarodnogo kongressa. Novosibirsk, 2007. T. 2, ch. 2. S. 239–244.

12. Vais A. A. Vosstanovlenie srublennogo zapasa drevostoya. Tekst : neposredstvenny'j // Nauchny'j zhurnal KraGAU. 2009. № 45(1). S. 1–10.

13. Vais A. A. Zakonomernosti svyazi diametrov drev'ev sosny' oby'kvennoj (*Pinus sylvestris* L.) na vy'sote grudi i na vy'sote pnya v usloviyax Srednej Sibiri.

Tekst : neposredstvenny'j // Vestnik IrGSXA. 2012. № 50. S. 43–48.

14. Vais A. A. Normativy' dlya opredeleniya zapasov vy'rublenny'x drevostoev po pnyam v usloviyax Sibiri. Tekst : neposredstvenny'j // Lesnoj zhurnal. 2011. № 4. S. 24–28.

15. Vais A. A. Svyaz' diametrov nizhnej chasti drev'ev sosny' oby'kvennoj (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyax Srednej Sibiri. Tekst : neposredstvenny'j // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo: mezhdunarodny'j nauchno-prakticheskij zhurnal. 2011. № 1-2(45-46). S. 29–32.

16. Uss E. A. K voprosu opredeleniya zapasov vy'rublennoj drevesiny' na leseke po pnyam. Tekst: e'lektronny'j // URL: http://science-bsea.narod.ru /2012/les_2012/uss_vopros.htm (data obrashheniya: 14.11.2021).

17. Bachek A. I., Vais A. A. Vosstanovlenie zapasa po dannym izmerenij pnej sosny' v usloviyax Irkutskoj oblasti. Tekst : neposredstvenny'j // Vestnik IrGSXA. 2014. № 1(15). S. 40–42.

18. Sedembil' Sh. A., Vais A. A. Sootnoshenie diametrov na vy'sote grudi i na vy'sote pnya v usloviyax Ky'zyl'skogo lesnichestva. Tekst : neposredstvenny'j // Molodezh' i nauka. 2017. № 1. S. 74.

19. Abdullaeva N. A., Xajrov I. X. K voprosu issledovaniya zakonornostej perexoda ot diametra pnya drevya k diametru na vy'sote grudi. Tekst: neposredstvenny'j // I nacional'naya konferenciya po itogam nauchnoj i proizvodstvennoj raboty' prepodavatelej i studentov v oblasti landshaftnoj arxitektury' i lesnogo dela. Saratov, 2019. S. 3–7.

20. Vais A. A. Uproshhenny'j metod opredeleniya diametrov nizhnej chasti drev'ev sosny' oby'kvennoj (*Pinus Sylvestris* L.) v usloviyax Srednej Sibiri. Tekst: neposredstvenny'j // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. E'kologiya. Prirodopol'zovanie. 2012. S. 31–35.

21. Vais A. A. Normativy' dlya vosstanovleniya srublenny'x zapasov sosny'x drevostoev (*Pinus Sylvestris* L.) v usloviyax Srednej Sibiri. Tekst : neposredstvenny'j // Vestnik KrasGaU. 2009. № 11(38). S. 136–140.

22. Vais A. A., Vorob'eva I. A. Forma nizhnej chasti drev'ev osnovny'x lesoobrazuyushhix porod Sibiri. Tekst: neposredstvenny'j // Xvoyny'e boreal'noj zony'. 2015. № 1-2. S. 7–12.

23. Metodicheskie podxody' k izucheniyu sootnosheniya diametrov drev'ev na vy'sote 1,3 metra i na vy'sote pnya / Vais A. A., Vorob'eva I. A. Tekst : neposredstvenny'j // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo. 2015. № 1(52). S. 16–19.

24. Celivanov Yu. V. Sootnoshenie diametrov na vy'sote pnya i na vy'sote grudi v sosny'x molodnyakax uchebno-opyt'nogo lesxoza. Tekst : neposredstvenny'j // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo : mezhvuz. sb. nauch. tr. Krasnoyarsk, 1973. S. 221–224.

25. Pravitel'stvo Rossijskoj Federacii. Postanovlenie. Osobennosti vozmeshheniya vreda, prichinennogo lesam i naxodyashhimsya v nix prirodny'm ob'ektam vsledstvie narusheniya lesnogo zakonodatel'stva s izmeneniyami na 18 dekabrya 2020 goda : Postanovlenie № 1730 : utverzhen postanovleniem Pravitel'stva Rossijskoj

Federacii 29 dekabrya 2018 goda. Moskva : Kodeks, 2018. Tekst : neposredstvenny`j.

26. Lebkov V. F., Kaplina N. F. Sbeg drevesny`x stvolov razlichnoj formy` po otnositel`ny`m vy`sotam. Tekst: neposredstvenny`j // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo : mezhdun. nauchno-prakt. zhurn. Krasnoyarsk, 2003. № 1. S. 55–59.

27. Vojnov G. S., Chuprov N. P., Yaroslavcev S. V. Lesotaksacionny`j spravochnik dlya severo-vostoka evropejskoj chasti SSSR (Normat. materialy` dlya Arxang., Vologod. obl. i Komi ASSR). Arxangel`sk : AILIX, 1986. 356 s.

28. Lesotaksacionny`j spravochnik dlya yuzhno-taezhny`x lesov Srednej Sibiri / S. L. Shevelev, V. V. Kuz`michev, N. P. Pavlov, A. S. Smol`yanov. Moskva : VNIILM, 2002. 166 s. Tekst : neposredstvenny`j.

29. Tixomirov B. N. Tablicy dlya taksacii sosnovy`x drevostoev bassejna r. Angary`. Tekst: neposredstvenny`j // Tr. Sibir. lesotexn. in-ta. Vy`p. VII. Krasnoyarsk, 1967. S. 113–133.

30. Lakin G. F. Biometriya: uchebnoe posobie. M. : VSh., 1990. 350 s.

© Вайс А. А., Слесарева Д. В.,
Данилюк Д. Я., 2026

Поступила в редакцию 15.10.2025
Принята к печати 20.02.2026

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСОВ НА КОНТАКТЕ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ*

А. П. Сизых, В. А. Осолков¹, В. И. Воронин, А. П. Гриценюк

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132

¹E-mail: vosk@sifibr.irk.ru

Аннотация. Структурно-динамические характеристики лесных сообществ контакта высотных поясов отражают особенности пространственно-временной организации растительности физико-географических условий конкретных территорий. Определены базовые позиции для установления статуса лесов, формирующихся в переходных природных условиях – на контакте высотных поясов в Юго-Восточном Прибайкалье (хребет Хамар-Дабан). Установлено дальнейшее продвижение, выявленное еще в 50-х годах прошлого столетия, древесных видов растений (*Abies sibirica* Ledeb., реже – *Picea obovata* Ledeb.) выше сомкнутого древостоя в сообщества подгольцового пояса и горную тундру. В полосе контакта темнохвойной (*Pinus sibirica* Du Tour, *Picea obovata* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb.) горной тайги и светлохвойных (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb.) лесов отмечено формирование лесных сообществ, включающих структурные элементы организации двух поясов растительности. Формирующиеся на контакте разных высотных поясов лесные сообщества, определенные как экотоны, могут быть основой прогноза дальнейшего развития растительности на фоне изменчивости климата и возможных деструкций среды (экотопов) в регионе.

Ключевые слова: темнохвойная тайга, светлохвойные леса, высотные пояса, экотоны, Юго-Восточное Прибайкалье.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 73–80

MODERN TRENDS IN FORESTS FORMATION AT THE CONTACT OF HEIGHT BELTS IN SOUTH-EASTERN PRE-BAIKAL

A. P. Sizykh, V. A. Oskolkov¹, V. I. Voronin, A. P. Gritsenyuk

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Science Siberian Branch
132, Lermontov str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

¹E-mail: vosk@sifibr.irk.ru

Abstract. Structural-dynamic characteristics of forest cenoses at height belts contact reflect the peculiarities of spatial-temporal organization of vegetation under physical-geographic conditions on concrete territories. Basic positions were determined for establishing of the status of forests forming under transitional environmental conditions – at the contact of height belts in South-Eastern Pre-Baikal (Khamar-Daban Ridge). We found out further progress of trees species (*Abies sibirica* Ledeb., more rare – *Picea obovata* Ledeb.) above closed timber stand into cenoses of sub-goltsy belt and into mountain tundra revealed still during 50ies of last century. In the contact line between dark-coniferous (*Pinus sibirica* Du Tour, *Picea obovata* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb.) mountain taiga and light-coniferous (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb.) forests, formation of forest cenoses including structural elements of organization of two vegetation belts is noticed. Forest cenoses forming at the contact of different height belts and determined as ecotones may be a basis for the forecast of further development of vegetation on the background of climate variability and of probable environment (ecotopes) destruction in the region.

Keywords: dark-coniferous taiga, light-coniferous forests, height belts, ecotones, South-Pre-Baikal.

ВВЕДЕНИЕ

Направленность формирования лесов на фоне изменчивости климата континентально-регионального масштаба в последние десятилетия отражает современ-

ные тенденции их развития и в Байкальском регионе. В этой связи, внесение своевременных поправок в установление вектора развития лесной растительности в аспекте поясно-зональной дифференциации ее

* Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России для Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (Рег. № НИОКТР – 125021702405-5).

структурно-динамической и структурно-функциональной организации, позволит прогнозировать тенденции формирования лесов на регионально-топологическом уровне их организации. В этой связи, выявление вектора сдвига границ ботанико-географических зон, высотных поясов приобретает первостепенное значение в изучении пространственной дифференциации лесной растительности конкретных территорий, поскольку в различных природных зонах климатические изменения воздействуют на сообщества неодинаково. Для оценки вероятных реакций растительности на изменения климата требуются детальные исследования характера формирования лесов, в частности, на топологическом уровне организации природной среды. Достаточно объективной информацией, характеризующей те или иные изменения в структуре лесов, могут быть данные исследований пространственно-временной динамики верхней границы леса, а также сообществ контакта высотных поясов в пределах конкретной горной системы, как целостной геосистемы, обусловленной сложившимися вещественно-энергетическими связями в течение столетий. Существующие границы лесов в условиях высотной поясности могут выступать точкой отчета прошлых, происходящих и возможных изменений пространственной структуры растительности при разных сценариях изменчивости климата.

Относительно верхней границы леса, приводятся разные трактовки в ее определение. К примеру, в геоботаническом словаре под редакцией О. С. Гребенщикова [Гребенщиков, 1965] и в словаре общегеографических терминов [Словарь общегеографических ..., 1975] граница леса определяется как верхний предел древесной растительности в горах. Многие исследователи склонны утверждать, что граница леса – это полоса различной размерности между лесным поясом и редколесьем, между субальпийским лесом и альпийским лугом и т. д. С. Г. Шиятов (1985) считает, что до настоящего времени не существует строгого и общепринятого определения того, что есть «верхняя граница леса», однако считает, если сомкнутость крон деревьев выше 0,3, то следует считать лесом, тогда как если сомкнутость до 0,2 – редина, но опять же не граница леса как таковая. В проведенных исследованиях механизма вертикального и горизонтального сдвига верхней границы редколесий и сомкнутых лесов на Урале [Шиятов, Мазепа, 2002; Шиятов и др., 2007] приводятся данные о сдвигах верхней границы лиственных редколесий и сомкнутых древостоев за последние десятилетия. Показано, что в течение последних 90 лет происходит интенсивное продвижение древесной растительности выше в горы. В пределах экотона верхней границы леса, сдвиги составили в среднем от 290 до 520 метров и связано это, по мнению авторов, с потеплением и увлажнением климата с начала 1920-х годов с сохранением современных данных тенденций [Шиятов, Мазепа, 2007]. Изменение верхней границы распространения древесных видов растений, динамика верхней границы леса и ледников [Назаров, Мыглин, 2013] дают представление о современных тенденциях формирования высокогорных экотон. В. А. Усольцев с соавторами

в своей работе (2004) не используют термин «граница леса» как таковой, а оперирует определением – высотный экотон «лес – тундра», ссылаясь на доводы на этот счет некоторых исследователей.

Границей леса, на наш взгляд, следует считать линию (полосу), где заканчивается древостой (или редколесье) репродуктивного возраста и начинается полоса подроста лесобразующей породы и (или) кустарниковые заросли, луга и пустоши, включая кедровый стланик, применительно к горным системам Байкальской Сибири. В этом случае, подрост рассматриваться как индикатор пространственно-временной изменчивости структуры лесного пояса в условиях динамики климата региона. Вероятно, в этом есть смысл, если мы имеем информацию о состоянии системы «лес – не лес» в прошлом – сотни или десятки лет назад, как реальной возможности сравнить ее с существующим сейчас состоянием. В данном случае мы вправе говорить об лесных экотонах между растительными поясами, в некотором смысле как переходных природных зонах в горах.

Цель проведенных исследований – выявить современные тенденции формирования лесов высотного экотона «лес – подгольцовый пояс, лес – горная тундра», а также на контакте полидоминантной темнохвойно-светлохвойной и темнохвойной тайги. Основной задачей является проведение первоначальных прогнозных построений формирования лесных сообществ на границе леса, подгольцового пояса и горной тундры, лесов контакта темнохвойной тайги и светлохвойных лесов в Юго-Восточном Прибайкалье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования современной структурно-динамической и пространственно-временной организации формирующихся лесов на контакте высотных поясов проведены методом полевой геоботанической съемки [Полевая геоботаника, 1976; Методы геоботанических..., 1996], что позволило выявить современную структуру и ценоотические характеристики формирующихся лесных сообществ. Видовой состав растений согласовывался с определителями флоры [Флора Сибири, 1987–2003; Конспект флоры ..., 2012]. Видовые названия мхов уточнялись согласно определителя Л. В. Бардунова (1969). Районы исследований (ключевые участки): 1 – окрестности горы Лысой и 2 – бассейн реки Большая Речка (хребет Хамар-Дабан, Юго-Восточное Прибайкалье отмечены на карта-схеме (см. рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ключевой участок – окрестности горы Лысой (хр. Хамар-Дабан, Юго-Восточное Прибайкалье). Согласно карте растительности юга Восточной Сибири (Карта растительности ..., 1976) растительные сообщества района исследований относятся к таежной (бореальной) растительности Урало-Сибирской фратрии формаций, Южносибирским формациям горнотаежных темнохвойных лесов. На шлейфах и нижних частях склонов северных и северо-западных экспозиций формируются кедровые с елью (*Picea*

obovata), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) рододендроновые (*Rhododendron tomentosum* Harmaja = *Ledum palustre* L.), чернично (*Vaccinium myrtillus* L.) – бруснично (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – зеленомошные леса в сочетании с бадановыми (*Bergenia crassifolia* (L.) Tritsch) кедрочаши (*Pinus sibirica*). На шлейфах и нижних частях склонов северных и северо-западных экспозиций формируются кедровые с примесью, рододендроново-бруснично-зеленомошные леса в сочетании с бадановыми кедрочаши. На средних частях склонов северных и северо-западных экспозиций развиты кедрово-пихтовые кустарничково-травяно-зеленомошные леса. Растительность верхних частей склонов представлена альпино- и субальпинотипными луговыми группировками в сочетании с зарослями березы кустарниковой и ивы седой в комплексе с кедровым стлаником, относящимися к Южно-Сибирским формациям Алтае-Тянь-Шаньской фратрии альпийских формаций гольцовой растительности. Подгольцовый пояс характеризуется зарослями кедрового

стланика в сочетании с горными тундрами, относящимися согласно карты растительности юга Восточной Сибири к Байкало-Джугджурским формациям Беренгийской фратрии формаций [Карта растительности ..., 1972].

Согласно корреляционной эколого-фитоценотической карте [Корреляционная ..., 1977] растительные комплексы территории представлены преимущественно пихтово (*Abies sibirica*) – кедровыми (*Pinus sibirica*) чернично (*Vaccinium myrtillus*) – мелкотравно-зеленомошными, кедровыми (*Pinus sibirica*) и кедрово (*Pinus sibirica*) – еловыми (*Picea obovata*) кустарничково-зеленомошными лесами и их березово (*Betula sp.*) – осиновыми (*Populus tremula* L.) восстановительными сериями умеренно холодных и влажных местообитаний. В соответствии с «Картой растительности юга Восточной Сибири» (1972) растительные сообщества района исследований относятся к таежной (бореальной) растительности Урало-Сибирской фратрии формаций, Южносибирским формациям горно-таежных темнохвойных лесов.

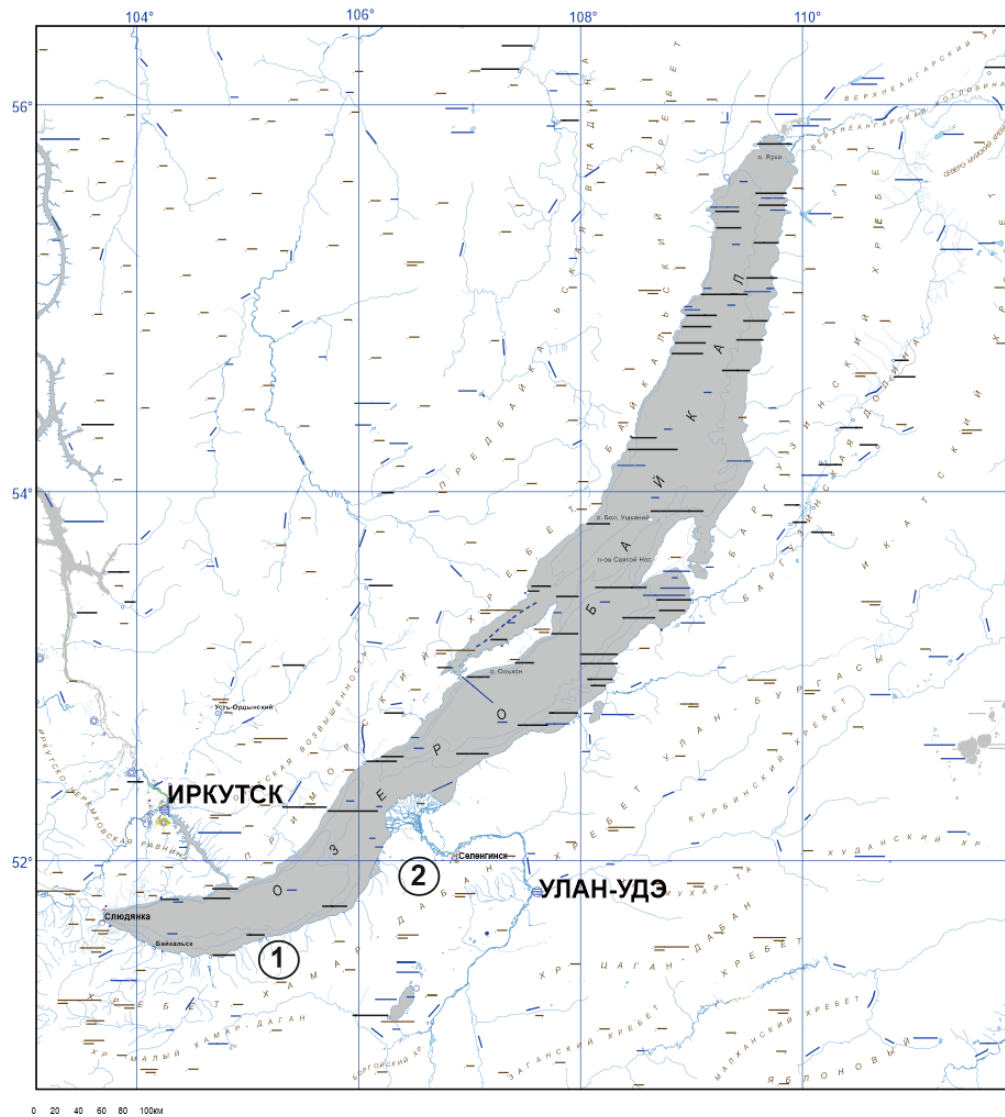


Рис. 1. Цифровыми маркерами отмечены районы исследований (ключевые участки находятся в пределах хребта Хамар-Дабан):

1 – окрестности горы Лысая; 2 – бассейн реки Большая Речка

По данным Г. И. Галазия (1954), которые датируются 1951 годом, проявление верхнего предела древесной растительности отмечается на высоте 1600 м над ур. моря (верховье р. Лангатуи, хребет Хамар-Дабан). Это примерно в 60-ти км юго-западнее нашего ключевого участка – окрестностей горы Лысой. В древостое на верхней границе леса прослеживаются все стадии лесовозобновления: всходы, подрост, жердняк и молодые *Abies sibirica* второго яруса. Возобновление *Abies sibirica* вне границы древостоя отражает благоприятные условия последних лет, которые способствуют обильному урожаю семян. В целом, продвижение подроста выше границы сомкнутого древостоя – процесс достаточно медленный во времени, но, при благоприятных обстоятельствах отмечается постепенное продвижение *Abies sibirica* в подгольцовый пояс, что и было зафиксировано для средней части хребта Хамар-Дабан – нашего ключевого участка. Здесь следует отметить, что наши материалы получены для местообитаний сходной орографии с данными Г. И. Галазия (1954) – для склонов северных экспозиций, что позволяет провести их достаточно корректный сравнительный анализ. По результатам исследований возможно говорить о происходящем сдвиге верхней границы леса с формированием межвысотного поясного экотона «лес – горная тундра», характерного для всей горной системы Хамар-Дабан (Юго-Восточное Прибайкалье).

Здесь следует отметить и то, что смена древесных пород в Восточном Прибайкалье (включая хр. Хамар-Дабан) в голоцене происходила разнонаправленно [Безрукова, 2002; Безрукова и др., 2011], от сокращения еловой (*Picea obovata*) и пихтовой (*Abies sibirica*) составляющих и увеличения доли кедра (*Pinus sibirica*) от начала среднего голоцена к позднему вследствие снижения общей увлажненности и увеличения континентальности климата.

В заключительные этапы позднего голоцена намечалось расширение площадей, занятых производными лесами. В настоящее время наблюдается активное возобновление пихты (*Abies sibirica*) и кедра (*Pinus sibirica*). Возможно, это связано с процессами естественных смен доминирующих пород в лесных сообществах на фоне относительного увеличения атмосферного увлажнения.

Исследования, проведенные на ключевом (модельном) участке методом полевой геоботанической съемки, позволили выявить современную структуру растительных сообществ экотона «лес – подгольцовый пояс – горная тундра» для средней части хр. Хамар-Дабан (окрестности горы Лысой, Байкальский биосферный заповедник).

Ключевой участок – окрестности горы Лысой (N 51°31' – E 105°30', средняя часть хребта Хамар-Дабан) находится на высоте 1624 м над ур. моря) в северной части Байкальского биосферного заповедника. Длительное время (на протяжении более чем 60-ти лет) территория находится в режиме полной охраны с ограниченным посещением сотрудниками заповедника в целях мониторинга пространственно-временных изменений структуры растительных сообществ и общего состояния растительности. По результатам про-

веденных исследований растительности ключевого участка, представляющего собой экотон «лес – подгольцовый пояс – горная тундра», отмечены тенденции формирования куртин пихты сибирской вне полога леса.

Ниже приведены некоторые геоботанические описания, начиная с сомкнутого древостоя пихты (*Abies sibirica*) с участием кедра (*Pinus sibirica*), до подгольцового пояса по профилю, отражающему пространственную структуру растительности данного ключевого участка:

Описание № 1 (N 51° 31' 25" – E 105° 30' 23"; высота 1525 м над ур. моря) – нижняя часть склона горы Лысой, на границе перехода сомкнутого древостоя к редколесью.

Темнохвойный (*Abies sibirica*) кустарниковый разнотравный с подростом пихты (*Abies sibirica*) лес на склонах северо- и северо-восточной экспозиций. Древостой разновозрастный (1 ярус – до 50 лет, 2 – до 35, 3 – до 15) с выраженным подростом *Abies sibirica* и участием *Pinus sibirica* до 30 лет (сомкнутость древостоя до 0,8). На модельном участке в 10 м² насчитывается 41 дерево от 2 до 15 лет. Кустарниковый ярус составляют *Rhododendron aureum* Georgi (синузильно), из кустарничков – *Empetrum nigrum* L. (синузильно) и *Vaccinium myrtillus* – повсеместно. Напочвенный покров образуют *Bergenia crassifolia*, *Veratrum lobelianum* Bernh., *Aquilegia sibirica* Lam., *Anemone altaica* Fischer ex C. A. Meyer и *Carex sp.* Из мхов характерны *Polytrichum juniperinum* Hedw. и *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr.

Описание № 2 (N 51° 31' 23" – E 105° 30' 14"; высота 1595 м над ур. моря) – средняя часть склона горы Лысой, в пределах переходной полосы – редколесье с *Abies sibirica* Ledeb. – подгольцовый пояс».

Разновозрастный подрост (2 ярус – до 18 лет, 3 – до 15) *Abies sibirica* Ledeb. с единичными деревьями до 25 лет (1-й ярус) на склонах северо- и северо-восточной экспозиций. На модельном участке в 10 м² насчитывается 33 дерева от 2 до 25 лет. Кустарниковый ярус образуют *Pinus pumila* (Pallas) Regel, *Rhododendron aureum*, *Juniperus sibirica* Burghd. в комплексе с кустарниками и кустарничками – *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium uliginosum* L. и *Empetrum nigrum* L. Синузильно, в напочвенном покрове представлен *Bergenia crassifolia* в комплексе с *Polytrichum juniperinum* и *Aulacomnium palustre*.

Описание № 3 (N 51° 31' 18" – E 105° 30' 09"; высота 1613 м над ур. моря) – привершинная часть склона горы Лысой, подгольцовый пояс.

Редкий разновозрастный (1 ярус – до 20 лет, 2 – до 15, 3 – до 10) подрост *Abies sibirica* среди *Pinus pumila* на склоне северо- и северо-восточной экспозиций. На модельном участке в 10 м² насчитывается 17 деревьев от 2 до 20 лет. Из кустарников, кроме *Pinus pumila* (Pallas) Regel, отмечен *Rhododendron aureum* и *Juniperus sibirica* Burghd. В напочвенном редкотравье присутствуют *Pedicularis sp.*, *Geranium sp.*, *Carex sp.* в комплексе с кустарниками и кустарничками *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium vitis-idaea* в комплексе с *Polytrichum juniperinum* и *Aulacomnium palustre*.

Описание № 4 (N 51° 31' 14" – E 105° 30' 01"; высота 1624 м над ур. моря) – вершина горы Лысой. Подгольцовый пояс с фрагментами горной тундры.

Отмечен кедровый стланик (*Pinus pumila*) с единичными *Abies sibirica* до 5-8 лет, и редко с ее куртинами (возраст до 15 лет) ближе к началу полого склона. Отдельными группировками присутствуют *Rhododendron aureum*, *Ledum palustre* subsp. *decumbens* (Aiton) Hulten. Кустарники и кустарнички – *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea* отмечены небольшими группировками в комплексе с *Carex sp.*, *Pedicularis capitata* Adams и *Huperzia selago* (L.) Bernh. ex Schrank et Mart. – по понижениям.

Из полученных геоботанических описаний по ключевому участку следует, что в течение последних десятилетий наметились тенденции продвижения древесной породы – пихты сибирской за пределы полого древостоя в полосу кедрового стланика до горных тундр. В среднем это составляет 200–250 м в линейном отношении, что является достаточно существенным подтверждением изменения верхней границы леса за последние годы. На фотографии отражена территория перехода сомкнутого древостоя пихты сибирской в подгольцовый пояс (см. рис. 2).

Формирование в течение последних десятилетий леса на контакте горно-таежных лесов и подгольцового пояса в экотоне «лес – подгольцовый пояс – горная тундра» в окрестностях горы Лысой (хр. Хамар-Дабан) отражает тенденции продвижения *Abies sibirica* за пределы полого древостоя в полосу кедрового стланика (*Pinus pumila*) до горных тундр. Вероятно, это связано с высокой продуктивностью семян пихтовых древостоев в конце 1980-х и теплыми зимами первой половины 1990-х годов, что поспособствовало формированию благоприятных климато-эдафических условий для проникновения древесных пород в подгольцовый пояс и горную тундру. В среднем высота молодых деревьев пихты, заселяющей подгольцовый пояс до 2–2,5 м на склоне и до 1–1,5 м на вершине горы. В данном случае следует трактовать такую динамику формирования сообществ как пространственное (в вертикальном отношении) расширение экотона «лес-подгольцовый пояс – горная тундра» за последние десятилетия (рис. 3).

Ключевой участок – средняя часть бассейна реки Большая Речка (северная оконечность хребта Хамар-Дабан). Согласно корреляционной эколого-фитоценотической карте [Корреляционная ..., 1977], растительные комплексы территории представлены преимущественно пихтово-кедровыми чернично-мелкотравно-зеленомошными, кедровыми и кедрово-еловыми кустарничково – зеленомошными лесами и их березово-осиновыми восстановительными сериями умеренно холодных и влажных местообитаний.

В соответствии с картой зон и типов поясности растительности России и сопредельных территорий [Зоны и типы..., 1999] район исследований относится к Забайкальскому гольцово-тундрово-стланиково-редколесно-таежно-лесостепному (Баргузинскому) типу поясности растительности. Выделяются: полоса горной тундры – подгольцовый подпояс – подпояс лиственничного редколесья с участием темнохвойных

пород – нижняя полоса горнотаежных кедрово-пихтовых лесов – нижняя полоса сосново-лиственничных и лиственничных лесов – лесостепь. В соответствии с картой растительности юга Восточной Сибири (1972) растительные сообщества района исследований относятся к таежной (бореальной) растительности Урало-Сибирской фратрии формаций, Южносибирским формациям горно-таежных темнохвойных лесов.

По результатам проведенных исследований с составлением геоботанических описаний на ключевом участке (нижняя часть бассейна р. Бол. Речка) по направлению от верховья к низовью, установлены следующие сообщества:

Описание № 1 (N 51° 56' 21" – E 106° 22' 18"):

Точка 1. Кедрово (*Pinus sibirica*) – сосновый (*Pinus sylvestris* L.) с березой (*Betula platyphylla* Sukaczew), осиной (*Populus tremula*) бруснично (*Vaccinium vitis-idaea*) – осоковый (*Carex macroura* Meinsh.) лес (среднее течение р. Бол. Речка, нижняя часть склона северо-западной экспозиции). В подросте доминирует *Pinus sibirica*, *Picea obovata* Ledeb. с участием *Pinus sylvestris*, *Betula platyphylla* в куртинах. Под пологом березового леса (возраст 18–25 лет), на месте «старой» рубки также доминируют *Pinus sibirica*, *Picea obovata*, *Abies sibirica* от 2 до 15 лет. На более сухих участках – *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Picea obovata* по возрастанию количественных соотношений вида в ценозе. Здесь следует отметить, что присутствие в подросте *Pinus sibirica* и *Abies sibirica* может отражать начальную стадию «переходности» от темнохвойно-светлохвойной к темнохвойной тайге по тенденциям формирования сообществ, вне высотного градиента, что обуславливает становление межвысотного поясного экотона в структуре растительности на контакте поясов.

Точка 2. Кедрово (*Pinus sibirica*) – сосновый (*Pinus sylvestris*) с *Abies sibirica* разнотравно-злаковый лес (средняя часть склона к долине реки). В подросте *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris* от 2 до 20 лет. Часто на гарях и рубках формируются березово (*Betula platyphylla*) – осиново (*Populus tremula*) с участием *Pinus sibirica* разнотравные группировки.

Описание № 2 (N 51° 56' 46" – E 106° 21' 32"):

Точка 3 (нижнее течение р. Б. Речка, нижняя часть склона северо-западной экспозиции). Сосновый с участием лиственницы (*Larix sibirica*), кедр (*Pinus sibirica*), а по увлажненным участкам редко пихты *Abies sibirica*, рододендровый (*Rhododendron dauricum*), бруснично (*Vaccinium vitis-idaea*) – осоковый лес с присутствием *Abies sibirica* во 2-м ярусе. Основу подроста составляют *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, с существенным присутствием *Picea obovata*, *Abies sibirica*, и единичными экземплярами *Pinus sylvestris*.

На ниже приведенных фотографиях отражены процессы формирования растительных сообществ в зоне контакта светлохвойных лесов и темнохвойной тайги ключевого участка (рис. 4).

Установлено, что в лесах более сухих местообитаний (особенно это характерно для средних частей склонов по бортам реки) доминируют *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica* с напочвенным покровом из брусники и вейника.



Рис. 2. Ключевой участок (привершинная часть склона северо-западной экспозиции) – окрестности горы Лысая (хр. Хамар-Дабан, Южное Прибайкалье).
Подрост пихты в подгольцовом поясе – территории формирования межвысотного поясного экотона на границе сомкнутого древостоя и подгольцового пояса



a



б

Рис. 3. Ключевой участок – межвысотный поясной экотон, окрестности горы Лысой (хр. Хамар-Дабан, Юго-Восточное Прибайкалье):
a – северо-западная экспозиция склона; *б* – привершинная часть склона западной экспозиции



а



б

Рис. 4. Ключевой участок – территория перехода светлохвойной тайги в темнохвойную, бассейн реки Бол. Речка (северная оконечность хребта Хамар-Дабан):

а – средняя часть выположенного склона; б – склон правого борта долины реки

На рубках и гарях таких лесов под формирующем древостоем, состоящим из мелколиственных пород, развит подрост из темнохвойных пород деревьев – (*Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*), слагающих темнохвойную тайгу, характерную для района исследований. В данном случае происходит формирование «межвысотного-поясного экотона» – на контакте светлохвойной и темнохвойной тайги, во многом отражающего современные тенденции формирования растительности горных систем Юго-Восточного Прибайкалья. Здесь следует отметить, что продвижение темнохвойных пород деревьев в зону светлохвойных лесов в форме подроста, на начальных этапах формирования древостоя, с последующим выходом во второй ярус, свидетельствует о пространственном расширении темнохвойной составляющей структуры тайги на фоне динамики климата последних десятилетий в Байкальском регионе в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование леса на ключевом участке – окрестности горы Лысой в экотоне «лес – подгольцовый пояс – горная тундра» этого района исследований характеризуется достаточной разреженностью и в большей степени «куртинностью» распространения пихты (*Abies sibirica*) в зависимости от экспозиции

склона горы и линейного удаления от кромки леса. Прослеживается тенденция на продвижение пихты сибирской вверх по профилю от кромки сомкнутого древостоя в подгольцовый пояс, в полосу кедрового стланика, что составляет до 200–250 м в линейном отношении от кромки редколесья.

Общими признаками структуры сообществ ключевых участков – бассейна реки Бол. Речка, является то, что помимо тенденций усиления позиций темнохвойных пород (*Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*) в подросте светлохвойных (*Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*) лесов, часто на гарях и рубках, под пологом мелколиственного древостоя развит подрост деревьев, слагающих темнохвойную тайгу определенного высотного пояса, характерного для высокогорной тайги хребта Хамар-Дабан.

В последние десятилетия, на фоне изменчивости климатических условий в Байкальском регионе, включая и районы исследований, наметились тенденции экспансии темнохвойных пород деревьев в подгольцовый (и горную тундру) пояс и формирование лесных сообществ контакта светлохвойных лесов и темнохвойной тайги с формированием межвысотного-поясных экотон, как отражение вектора развития растительности горных систем Юго-Восточного Прибайкалья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бардунов Л. В. Определитель листостебельных мхов Центральной Сибири. Л. : Наука, 1969. 330 с.
2. Безрукова Е. В. Растительность и климат юга Восточной Сибири в позднем неоплейстоцене и голоцене : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.04 / Безрукова Елена Вячеславовна; Иркутский институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. Иркутск, 2002. 46 с.
3. Палинологические исследования донных отложений озера Котокель (район озера Байкал) / Е. В. Безрукова, П. Е. Тарасов, Н. В. Кулагина и др. // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 4. С. 586–596.
4. Галазий Г. И. Вертикальный предел древесной растительности в горах Восточной Сибири и его динамика // Геоботаника. 1954. Т. IX. С. 210–325.
5. Гребенщиков О. С. Геоботанический словарь. М. : Наука, 1965. 226 с.
6. Зоны и типы пояса растительности России и сопредельных стран (М-б 1 : 8 000 000). М. : Изд-во МГУ, 1999. 2 л.
7. Карта растительности юга Восточной Сибири (М 1 : 1 500 000). М. : ГУГК, 1972. 4 л.
8. Конспект флоры Азиатской России: сосудистые растения. Новосибирск : Изд-во ЦСБС, 2012. 638 с.
9. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта. Иркутск : Изд-во ИГ СО АН СССР, 1977. 1 л.
10. Методы геоботанических исследований. М. : Изд-во Ассоциация «Экосистема», 1996. 21 с.
11. Назаров А. Н., Мыглин В. С. Динамика верхней границы леса и ледников Центрального и Восточного Алтая в голоцене // Динамика современных экосистем в голоцене : материалы Третьей всерос. науч. конф. 12–15 марта 2013 г. Казань, 2013. С. 243–245.
12. Полевая геоботаника. Т. 4. М.-Л., 1976. 336 с.
13. Словарь общегеографических терминов / под ред. Л. Д. Стампа. М. : Прогресс, 1975. Т. 1. 497 с.
14. Усольцев В. А., Крапивина О. А., Залесов С. В. Первичная продукция лиственницы сибирской на экотоне «лес-тундра» // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск : БГИТА, 2004. Вып. 9. С. 133–135.
15. Флора Сибири. Новосибирск : Наука, 1987–2003. Т. 1–14.
16. Шиятов С. Г. Понятие о верхней границе леса // Растительный мир Урала и его антропогенные изменения. Свердловск : Изд-во УНЦ АН СССР, 1985. С. 32–58.
17. Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Климатогенная динамика лесотундровых экосистем в горах Полярного Урала // Экологические проблемы горных территорий. Екатеринбург, 2002. С. 41–45.
18. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на полярном Урале / С. Г. Шиятов, М. М. Терентьев, В. В. Фомин, Н. Е. Циммерман // Экология. 2007. № 4. С. 243–251.
19. Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале // Лесоведение. 2007. № 6. С. 11–22.

REFERENCES

1. Bardunov L. V. Opredelitel' listostebel'nyh mhov Central'noj Sibiri. L. : Nauka, 1969. 330 s.
2. Bezrukova E. V. Rastitel'nost' i klimat yuga Vostochnoj Sibiri v pozdnem neoplejstocene i golocene: avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk : 11.00.04 / Bezrukova Elena Vyacheslavovna; Irkutskij institut geografii im. V. B. Sochavy SO RAN. Irkutsk, 2002. 46 s.
3. Palinologicheskie issledovaniya donnyh otlozhenij ozera Kotokel': (rajon ozera Bajkal) / E. V. Bezrukova, P. E. Tarasov, N. V. Kulagina, A. A. Abzaeva, P. P. Letunova, S. S. Kostrova // Geologiya i geofizika. 2011. T. 52. № 4. S. 586–596.
4. Galazij G. I. Vertikal'nyj predel drevesnoj rastitel'nosti v gorah Vostochnoj Sibiri i ego dinamika // Geobotanika. 1954. T. IX. S. 210–325.
5. Grebenschikov O. S. Geobotanicheskij slovar'. M. : Nauka, 1965. 226 s.
6. Zony i tipy pojasnosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nyh stran (M-b 1 : 8 000 000). M. : Izd-vo MGU, 1999. 2 l.
7. Karta rastitel'nosti yuga Vostochnoj Sibiri (M 1 : 1 500 000). M. : GUGK, 1972. 4 l.
8. Konspekt flory Aziatskoj Rossii: sosudistye rasteniya. Novosibirsk : Izd-vo CSBS, 2012. 638 s.
9. Korrelyacionnaya ekologo-fitocenoticheskaya karta. Irkutsk : Izd-vo IG SO AN SSSR, 1977. 1 l.
10. Metody geobotanicheskikh issledovanij. M. : Izd-vo Associaciya «Ekosistema», 1996. 21 s.
11. Nazarov, A.N. Dinamika verhnjej granicy lesa i lednikov Central'nogo i Vostochnogo Altaya v golocene / A. N. Nazarov, V. S. Myglin // Dinamika sovremennyh ekosistem v golocene : materialy Tre'tej vseros. nauch. konf. 12–15 marta 2013 g. Kazan', 2013. S. 243–245.
12. Polevaya geobotanika. T. 4. M.-L., 1976. 336 s.
13. Slovar' obshchegeograficheskikh terminov / pod red. L. D. Stampa. M. : Progress, 1975. T. 1. 497 s.
14. Usolcev V. A., Krapivina O. A., Zalesov S. V. Pervichnaya produkcija listvenicy cibirskoi na ecotone «les-tundra» // Aktualnye problemy lesnogo kompleksa. Brayansk : BGITA, 2004. Vyp. 9. S. 133–135.
15. Flora Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 1987–2003. T. 1–14.
16. Shiyatov S. G. Ponyatie o verhnjej granice lesa // Rastitel'nyj mir Urala i ego antropogennye izmeneniya. Sverdlovsk : Izd-vo UNC AN SSSR, 1985. S. 32–58.
17. Shiyatov S. G., Mazepa V. S. Klimatogennaya dinamika lesotundrovyyh ekosistem v gorah Polyarnogo Urala // Ekologicheskie problemy gornyyh territorij. Ekaterinburg, 2002. S. 41–45.
18. Vertikal'nyj i gorizontal'nyj sdvigi verhnjej granicy redkolesij i somknutyh lesov v XX stoletii na polyarnom Urale / S. G. Shiyatov, M. M. Terent'ev, V. V. Fomin, N. E. Cimmerman // Ekologiya. 2007. № 4. S. 243–251.
19. Shiyatov S. G., Mazepa V. S. Klimatogennaya dinamika lesotundrovoi rastitelnosti na Polayarnom Urale // Lesovedenie. 2007. № 6. S. 11–22.

© Сизых А. П., Осолков В. А.,
Воронин В. И., Гриценюк А. П., 2026

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.047

DOI: 10.64430/1993-0135-2026-1-81-88

Хвойные бореальной зоны. 2026. Т. XLIV, № 1. С. 81–88

УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИЯ – ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ ПРОЦЕСС ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Ш. Г. Зарипов¹, С. В. Посыпанов²

¹Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 662543, Красноярский край, г. Лесосибирск, ул. Победы, 29

E-mail: zaripov_sh@mail.ru

²Высшая инженерная школа

Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова

Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17

E-mail: s.posypanov@narfu.ru

Аннотация.

Введение. Практика конвективной сушки лиственничных пиломатериалов требует разработки механизма удаления влаги, учитывающего влияние наличия в значительных количествах водорастворимых веществ, основным компонентом которых является арабиногалактан. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований показал необходимость учёта такого процесса как экстракция водорастворимых веществ. Эмиссия водного раствора экстрактивных веществ происходит под действием избыточного давления, формирующегося в центре доски при реализации реакции гидролиза. Тогда механизм удаления воды из древесины лиственницы опирается на положения баромембранных процессов, которые в большинстве случаев сопровождается разделением раствора на концентрат и пермеат.

Цель исследований: изучить особенности механизма конвективной сушки лиственничных пиломатериалов на основе ультрафильтрации водного раствора экстрактивных веществ.

Результаты. Исходя из анализа экспериментальных данных представлен механизм, основанный на баромембранном процессе – ультрафильтрации. Мембрана природного происхождения – это селективно проницаемый барьер. Перенос водного раствора экстрактивных веществ через мембрану реализуется под давлением, которое формируется в древесине лиственницы в результате гидролиза. Массоперенос, осуществляющийся через полупроницаемую мембрану, формирует на внутренней стороне концентрат, а на наружной – пермеат в виде гидрогеля. Арабиногалактан – полисахарид, который составляет основу гидрогеля, обладает таким уникальным свойством как поглощение значительного количества воды. Поглощение воды сопровождается разбуханием. Изменение внешних условий (температуры, давления и др.) приводит к коллапсу. Объём слоя гидрогеля уменьшается в десятки раз. В результате на поверхности лиственничной доски в процессе сушки формируется дополнительный источник сопротивления выводу влаги. Основной эффект коллапса – это лавинообразный выброс на поверхность доски накопленной массы воды, которая за относительно короткий период времени испаряется. Образование слоя гидрогеля, его набухание и коллапс носят циклический характер.

Выводы.

1. Конвективная сушка лиственничных пиломатериалов – один из видов баромембранного процесса.
2. Проницаемость древесины лиственницы при конвективной сушке ступенчато снижается за счёт уплотнения пермеата.
3. На поверхности доски формируется гидрогель, который способен разбухать за счёт поглощения им воды в значительных количествах.
4. При определённых условиях происходит коллапс разбухшего гидрогеля, что приводит к лавинообразному выбросу воды.

Ключевые слова: лиственница, арабиногалактан, гидрогель, мембрана, массоперенос, пермеат, концентрат, ультрафильтрация.

ULTRAFILTRATION IS A FUNDAMENTAL PROCESS IN THE CONVECTIVE DRYING OF LARCH LUMBER

Sh. G. Zaripov¹, S. V. Posypanov²

¹Lesosibirsk Branch of the M. F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
29, Pobedy Str., Lesosibirsk, Krasnoyarsk Krai, 662543, Russian Federation

E-mail: zaripov_sh@mail.ru

²Higher Engineering School, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov,
17, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

E-mail: s.posypanov@narfu.ru

Abstract

Introduction. Convective drying of larch lumber requires the development of a moisture removal mechanism that takes into account the significant presence of water-soluble substances, the main component of which is arabinogalactan. Analysis of the experimental results revealed the need to consider the process of water-soluble substance extraction. The emission of an aqueous solution of extractive substances occurs under the influence of excess pressure generated in the center of the board during the hydrolysis reaction. Therefore, the mechanism for water removal from larch wood relies on the principles of baromembrane processes, which in most cases are accompanied by the separation of the solution into a concentrate and a permeate.

Research objective is to study the specific features of the convective drying mechanism of larch lumber based on ultrafiltration of an aqueous solution of extractive substances.

Results. The analysis of the experimental data presented a mechanism based on the baromembrane process – ultrafiltration. The natural origin membrane is a selectively permeable barrier. The transfer of an aqueous solution of extractive substances through the membrane is achieved under pressure generated in the larch wood as a result of hydrolysis. Mass transfer through the semipermeable membrane forms a concentrate on the inner surface and a permeate in the form of a hydrogel on the outer surface. Arabinogalactan, a polysaccharide that forms the basis of the hydrogel, has the unique property of absorbing significant amounts of water. Water absorption is accompanied by swelling. Changes in external conditions (temperature, pressure, etc.) lead to collapse. The volume of the hydrogel layer decreases tenfold. As a result, an additional source of resistance to moisture removal forms on the surface of the larch board during the drying process. The main effect of the collapse is an avalanche-like release of accumulated water onto the board surface, which evaporates in a relatively short period of time. The formation of the hydrogel layer, its swelling, and collapse are cyclical.

Conclusions:

1. Convective drying of larch lumber is a type of pressure-membrane process.
2. The permeability of larch wood during convective drying gradually decreases due to permeate compaction.
3. A hydrogel forms on the surface of the board, which can swell due to the absorption of significant quantities of water.
4. Under certain conditions, the swollen hydrogel collapses, leading to an avalanche-like release of water.

Keywords: larch, arabinogalactan, hydrogel, membrane, mass transfer, permeate, concentrate, ultrafiltration.

ВВЕДЕНИЕ

При рассмотрении процессов переноса влаги при конвективной сушке пиломатериалов низкотемпературными режимами принято оперировать таким понятием как влагопроводность. Под влагопроводностью понимается физическое свойство древесины, характеризующее способность материала проводить влагу. Влагопроводность – это скорость высыхания древесины, испарение влаги с поверхности и перемещение ее из внутренних, более влажных слоев к наружным [1; 2].

Такой подход отражает самое общее понимание процесса удаления влаги из твердого тела, включая древесину, независимо от породы. В основу влагопроводности закладывается капиллярное строение древесины. Предполагается прямая связь между процессами влагообмена и влагопереноса как отечественными специалистами [1–4 и др.], так и зарубеж-

ными [26–30 и др.]. Данный подход отчасти справедлив при изучении конвективной сушки таких пород как сосна, берёза.

Практика сушки лиственных пиломатериалов указывает на необходимость предусмотреть дополнительные условия при удалении влаги из данной породы древесины низкотемпературными режимами. Такими условиями являются экстракция водорастворимых веществ [5]. Поэтому влагоперенос в древесине лиственных является составным элементом массопереноса. Причём режимы экстракции и сушки принципиально ничем не отличаются – повышение температуры древесины приводит к увеличению интенсивности извлечения экстрактивных веществ и удаления воды.

Механизм извлечения экстрактивных веществ основывается на баромембранном процессе – массопереносе через мембрану под давлением. Процесс

извлечения экстрактивных веществ осуществляется через мембрану природного происхождения. Особенности строения мембраны указывает на ее полупроницаемость [6]. При фильтрации водный раствор экстрактивных веществ разделяется на концентрат и пермеат [7].

Накопление пермеата в поверхностных слоях доски существенно изменяет кинетику сушки. На основании вышесказанного формулируется цель работы: изучить особенности механизма конвективной сушки лиственничных пиломатериалов на основе ультрафильтрации водного раствора экстрактивных веществ.

ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении кинетики сушки сосновых и лиственничных пиломатериалов, установлено существенное различие. Кривые распределения влагосодержания в сосновых пиломатериалах в процессе сушки указывают на высокую степень согласованности интенсивности процессов влагопереноса и влагообмена.

Поэтому можно говорить о возможности управлять процессом переноса влаги в доске посредством изменения интенсивности влагообмена. Точки перегиба на кривых распределения воды в сосновой доске формируют ось симметрии. Данный факт предопределяет отсутствие дополнительных условий в процессе удаления воды.

Механизм удаления воды из лиственничных пиломатериалов в процессе сушки принципиально отличается от сосновых. Такой вывод основывается на результатах опытных сушек [8] (рис. 1). В начальный период сушки ($t_c \cong 8$ ч.) перепад влагосодержания в периферийной зоне доски (глубина 3...4 мм) достигает $\Delta W \geq 36$ %, что указывает на существенное превышение интенсивности влагообменных процессов над скоростью переноса воды в самой доске.

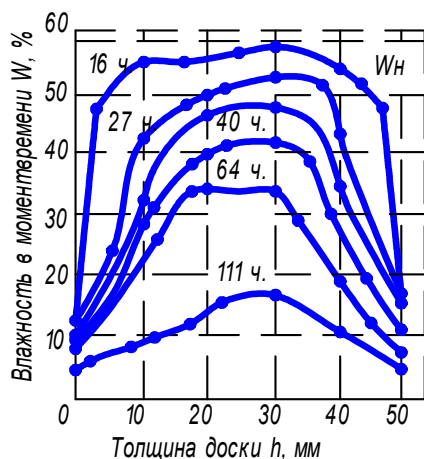


Рис. 1. Кривые распределения влаги в древесине при её сушке: лиственница, $S = 50$ мм, $t_c = 108$ °C, $t_m = 100$ °C [8]

Такой перепад влажности по сечению лиственничной доски указывает на наличие некоторого фактора, который блокирует вывод влаги. В более ранних работах [9; 10] обращалось внимание на то, что в про-

цессе сушки формируется блокирующий слой. Однако механизм образования указанного явления в деталях не рассмотрен.

Было обращено внимание на вытеснение экстрактивных веществ из высушиваемой древесины лиственницы при сушке низкотемпературными режимами (рис. 2) [11]. Вытеснение – это удаление водного раствора экстрактивных веществ из высушиваемой древесины под действием избыточного давления. Наличие экстрактивных веществ на поверхности доски указывает на мембранный процесс отделения. При прохождении через полупроницаемую мембрану водный раствор экстрактивных веществ делится на два основных компонента – концентрат и пермеат (см. табл. 1) [12].

Удельная производительность при переносе экстрактивных веществ через мембрану представляется в виде произведения параметра, учитывающего сопротивление мембраны (коэффициент проницаемости) и градиента давления на сторонах мембраны [7]

$$G_i = K_G \cdot \Delta p, \quad (1)$$

где G_i – удельная производительность; Δp – градиент давления на сторонах мембраны; K_{Gi} – коэффициент проницаемости (параметр, учитывающий сопротивление мембраны).

Таблица 1

Распределение водозэкстрактивных веществ по сечению лиственничных пиломатериалов

Содержание водозэкстрактивных веществ (% к массе абсолютно сухой древесины)			
до сушки		после сушки	
периферийная зона	центральная зона	периферийная зона	центральная зона
14,05	26,4	21,5	13,5

Из данных табл. 1 следует, что водорастворимые вещества перераспределяются по сечению лиственничных пиломатериалов при их конвективной сушке.

Мембрана. Ключевым элементом при баромембранном процессе выступает сама мембрана. Исторически основное расхождение в подходах касалось вопроса о наличии или отсутствии пор в мембране. Если в последнем случае (для непористой среды) механизм переноса основывается только на диффузии, то в первом – на сочетании диффузии с конвективным переносом в поровом пространстве.

При рассмотрении процессов сушки пиломатериалов, независимо от породы древесины, в основу закладывается первый вариант – наличие поровой среды. Через постоянно действующую систему пор в межклеточных мембранах осуществляется вывод влаги.

Из анализа литературных источников по данному вопросу следует вывод о том, что молекулы воды действительно способны перемещаться через межклеточную мембрану. Для этого должен быть выполнен ряд условий:

- наличие активной влаги;
- разность концентраций и др.



Рис. 2. Выделенные экстрактивные вещества в процессе сушки:

1 – выделение экстрактивных веществ; 2 – высушиваемый образец ливенницы;
3 – пружинная стяжка; 4 – подложка из сырой резины

Вода является универсальным растворителем. В древесине любой породы, включая ливенницу, имеется значительное количество водорастворимых веществ. Часть воды, взаимодействуя с указанной группой веществ, теряет свою активность. Оставшаяся часть воды выполняет функцию выравнивания концентрации определённой группы веществ в смежных клетках посредством осмоса, и также переходит в группу малоактивной [13]. Отсутствие воды в древесине ливенницы в чистом виде при $t_c = 48 \dots 65^\circ\text{C}$ наблюдается при значении $pH = 4,8$ [11].

Большинство мембран природного происхождения имеют сходный химический состав – это липопротеидные образования, содержащие около 60 % белков и 40 % липидов, среди которых значительная доля принадлежит фосфолипидам [6]. Важнейшим свойством молекулы фосфолипида является полярность (наличие полярной гидрофильной головки и двух гидрофобных углеводородных хвостов). Толщина мембран составляет 6–10 нм.

Двойной липидный слой, благодаря своей гидрофобности, создает относительно непроницаемый барьер для большинства водорастворимых молекул (полярных молекул), что предотвращает утечку содержимого клеток.

В то же время клетка имеет специальные механизмы для транспорта растворённых в воде веществ через мембрану. Такая проницаемость называется избирательной. Она обусловлена белковыми компонентами мембраны, способными узнавать определенные соединения и транспортировать их через мембрану по градиенту концентраций, или против.

Трансмембранные белки, представляющие собой заполненные водой каналы – гидрофильные поры в липофильной мембране, могут пропускать молекулу с молекулярной массой до 6000 ед. [14], что предопределяет её селективность. Поэтому мембрану природного происхождения следует рассматривать как полупроницаемую.

Водный раствор экстрактивных веществ. Анализ химического состава древесины ливенницы показал значительное содержание водорастворимых экстрактивных веществ – до 35 % [15] – в зависимости от места положения ствола дерева (см. табл. 1). Основным элементом водорастворимых веществ является арабиногалактан. Наибольшее содержание арабиногалактана в сухих веществах экстракта ((87...89) % и более) было зафиксировано в водной экстракции древесины при 100°C [17; 18].

Арабиногалактан относится к группе мембранотропных. Данное свойство объясняется относительно невысокой молекулярной массой (9000...13000) и небольшой степенью полидисперсности (1,9...2,3) [17]. Макромолекулы арабиногалактана преимущественно находятся в свёрнутом в клубки состоянии.

Повышенная мембранотропность макромолекулы арабиногалактана объясняется её энергетически рациональной организацией (рис. 3). Форма иона арабиногалактана [18; 19], а также наличие гидратного слоя [7], частично нейтрализующего макромолекулу арабиногалактана, обеспечивают ей повышенную проникающую способность.

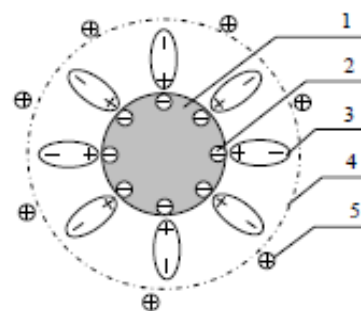


Рис. 3. Гидратированный ион арабиногалактана:

1 – молекула арабиногалактана; 2 – потенциалопределяющие ионы; 3 – гидратный слой; 4 – поверхность скольжения в дисперсной среде; 5 – противоионы

Арабиногалактан по физическому состоянию – аморфное вещество, так как в его макромолекуле отсутствуют структурированные области [18]. Макромолекула арабиногалактана содержит гидроксильные (OH^-), альдегидные группы, может содержать карбоксильные группы (COOH). Наличие в макромолекуле разноимённо заряженных групп определяет её multifunctionality, в том числе способность удерживать значительное количество воды [18] и, как следствие, придаёт ей полиэлектролитные свойства [19].

Важным показателем водного раствора арабиногалактана является вязкость. В работе [19] приводятся зависимости вязкости водного раствора арабиногалактана от таких показателей как pH и визуальной гидратации. По значению pH равной 4,8 [11] $\mu_{4,8} = 1,160 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$; по визуальной гидратации арабиногалактана (рис. 4), где массовая доля арабиногалактана составила 10 % (подвижная мутная жидкость, непрозрачный, цвет коричневый, на поверхности устойчивая пена, сладковатый аромат), $\mu_{10\%} = 1,768 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Сравнивая возможности переносчиков макромолекул через мембрану (молекулы с молекулярной массой до 6000 ед, минимальное значение молекулярной массы макромолекул арабиногалактана, равное 9000 ед.), можно сделать вывод о том, что для массопереноса требуется создание на одной из сторон листовенной доски избыточного давления.

Градиент давления на сторонах мембраны. Для рассмотрения данного вопроса необходимо оговорить следующие условия. Градиент давления следует рассматривать для пограничных мембран, а значит как разность между давлением в центре высушиваемой доски и атмосферным давлением $\Delta p = p_{\text{изб}} - p_{\text{атм}}$.

Вопрос о природе возникновения избыточного давления в древесине при конвективной сушке относится к одному из ключевых. Современная теория конвективной сушки пиломатериалов рассматривает древесину, независимо от породы, в виде системы открытых микропор [21; 22 и др.], через которые вода (не водный раствор) выводится на поверхность доски за счёт капиллярного давления.

Дополнительные исследования по указанному вопросу [11; 23] позволили уточнить, что избыточное давление в центре высушиваемой доски – результат гидролиза древесины листовенницы при сушке низкотемпературными режимами. Мониторинг давления в центре доски, который проводился датчиками давления ПД100-Ди-0,5, указал на циклический характер (рис. 5).

На формирование давления, достаточное для продавливания мембраны, требуется время (t_1). Некоторый промежуток времени нужен непосредственно на прохождение парогазовой смеси через мембрану (t_2). Таким образом, цикл эмиссии определённой порции парогазовой смеси состоит из двух основных этапов (рис. 5).

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2, \quad (20)$$

где t_1 – время нагнетания давления толще доски; t_2 – время прохождения парогазовой смеси через мембрану.

Данные мониторинга (рис. 5) соответствуют избыточному давлению на начальном этапе сушки. Следовательно, повышение давления до $p_{\text{изб}} = 20$ кПа переводит мембранную систему древесины листовенницы из условно непроницаемой в проницаемую.

Массоперенос водного раствора экстрактивных веществ через мембрану природного происхождения на начальном этапе сушки. Особенность рассматриваемого этапа сушки – незначительное влияние осмотического

давления. Наиболее значимым условием является взаимодействие материала мембраны с растворённым веществом. В отсутствие значимого влияния осмотического давления массоперенос через мембрану осуществляется при относительно низких значениях избыточного давления (до 20 кПа). Такой вид баромембранного процесса принято относить к ультрафильтрации.

Разница размеров макромолекул арабиногалактана и размера поры (9000/6000) позволяет рассматривать работу мембраны в виде сита, когда на внутренней стороне мембраны формируется концентрат, а на наружной – пермеат (рис. 6).

В начальный период сушки концентрация пермеата соответствует истинной задерживающей способности мембраны, который соответствует давлению 20 кПа. Сформированный слой на ощупь – липкая вязкая жидкость, химический состав которой принципиально не отличается от исходного раствора.

Основное отличие между технологией сушки и экстракции заключается в том, что экстракция предполагает удаление пермеата с поверхности древесных частиц путём смыва чистой водой. Конвективная сушка не предполагает указанной операции. Поэтому слой пермеата только увеличивается.

При определенной концентрации начинается межмолекулярное ассоциирование высокомолекулярных соединений с образованием пространственной сетки. Это состояние вещества называется гель, и возникает оно за счёт уменьшения гидратных оболочек функциональных групп молекул высокомолекулярных соединений и реализации водородных связей между молекулярными цепями [7; 24]. Для растворов высокомолекулярных соединений существует характеристическая концентрация гелеобразования – C_g , при которой внутри геля нет свободной воды, эта система имеет определенную плотность, вязкость и другие параметры.

Для конвективной сушки важным свойством полученных растворов сушки является способность значительно набухать с последующим коллапсом. Способность значительного набухания полиэлектролитных гелей в воде обусловлен общими физическими причинами, а не конкретным химическим строением полимерных цепей. Поэтому водный раствор арабиногалактана универсален, то есть характерен для всех заряженных полимерных гелей [25]. Следовательно, арабиногалактан, находящийся в поверхностных слоях доски, способен значительно набухать.



Рис. 4. Водный экстракт из влажной древесины листовенницы:
1 – водный экстракт; 2 – стеклянный сосуд; 3 – граница сред

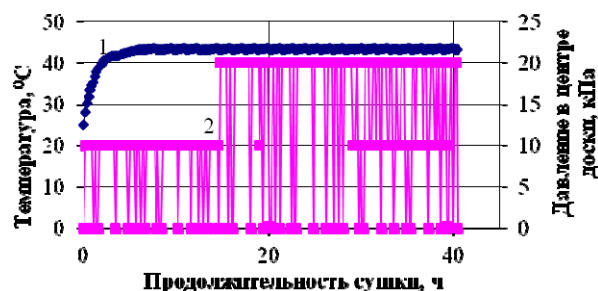


Рис. 5. Избыточное давление в центре доски при температуре агента сушки в начальный период $t_c = 44^\circ\text{C}$: 1 – температура агента сушки; 2 – давление в центре доски

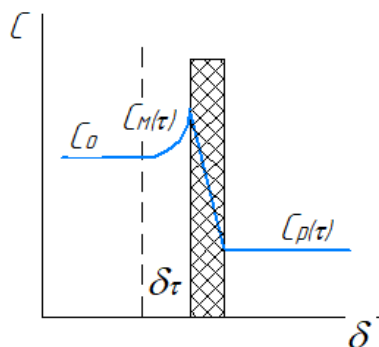


Рис. 6. Соотношение между концентрациями исходного раствора C_0 и пермеата

Из вышесказанного следует основополагающее для сушки лиственных пиломатериалов предположение – способность полученного на поверхности доски геля проходить стадии не только набухания, но и коллапса. Механизм коллапса гидрогелей подробно описан в [25]. Остановимся на некоторых положениях, которые важны для сушки лиственных пиломатериалов.

При набухании происходит диссоциация молекул арабиногалактана, что неизменно приводит к накоплению одноимённо заряженных ионов [25]. Тогда звенья полимерной сетки, одноимённо заряженные, отталкиваются друг от друга. Поэтому цепи, исходно свёрнутые в клубки, сильно вытягиваются, что предопределяет их разбухание [25].

В период набухания молекул арабиногалактана удаление воды с поверхности доски не происходит. Следовательно, вся вода, которая выделяется из древесины в составе раствора, задерживается в слое экстрактивных веществ, что способствует накоплению низкомолекулярных противоионов, которые свободно перемещаются в растворителе внутри геля. Наличие низкомолекулярных противоионов [25] создаёт «распирающее» осмотическое давление, что вызывает дополнительное набухание геля.

Таким образом, сильное набухание экстрактивных веществ, находящихся на поверхности лиственной доски, обусловлено как электростатическим отталкиванием одноимённо заряженных звеньев, так и осмотическим давлением противоионов. Эффект набухания наблюдается даже в том случае, когда количество заряженных звеньев невелико. Тогда арабиногалактан может набухать за счёт осмотического давления противоионов.

Набухшие гели очень чувствительны к изменениям внешней среды: температуры, давления, pH и др. [25] [и др.]. Наиболее вероятно изменение температуры при сушке лиственных пиломатериалов, что приводит к фазовому переходу. Изменение температуры обуславливается как необходимостью перехода на следующую ступень режима сушки, так и испарением воды с поверхности доски.

При испарении с поверхности доски удаляется часть тепловой энергии, которая аккумулируется в испарённой воде. Небольшое изменение внешних условий приводит к лавинообразному увеличению силы притяжения между звеньями сетки. В итоге объём геля уменьшается в сотни раз и представляется в виде коллапса [25]. Результат – мгновенное увеличение сопротивления массопереносу за счёт появления дополнительного источника сопротивления. Создаётся блокирующий процесс экстракции, что неизменно приводит к мгновенному увеличению избыточного давления (рис. 7) [11].

Лавинообразное изменение объёма арабиногалактана приводит к таким процессам как выброс воды из геля на поверхность слоя. В результате влажность доски снижается на 3...4 % в зоне связанной воды в течение 20...30 мин. Таким образом, изменение избыточного давления происходит по цикловому принципу, который состоит из двух основных этапов. На первом этапе избыточное давление в центре доски стабильное $p_{изб} = \text{const}$.

Продолжительность этого этапа исчисляется $t_{пл} = 8...20$ ч. В течении указанного периода происходит формирование определённого объёма пермеата, который сопровождается его набуханием. В этот период удаления влажности древесины не наблюдалось. На втором этапе избыточное давление в центре доски изменяется мгновенно. В результате наблюдается наслоение блокирующего слоя пермеата.

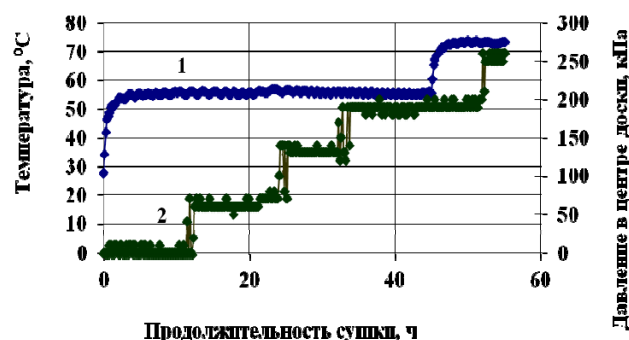


Рис. 7. Избыточное давление в центре доски $p_{изб}$ при температуре агента сушки в начальный период сушки $t_c = 55^\circ\text{C}$: 1 – температура агента сушки; 2 – давление в центре доски

Из вышеприведённого материала следует вывод: влага из древесины лиственной при конвективной сушке доставляется на поверхность доски в результате коллапса слоя пермеата.

Выводы:

1. Конвективная сушка лиственных пиломатериалов – один из видов баромембранного процесса.

2. Проницаемость древесины лиственницы при конвективной сушке ступенчато снижается за счет уплотнения пермеата.

3. На поверхности доски формируется гидрогель, который способен разбухать за счёт поглощения им воды в значительных количествах.

4. При определённых условиях происходит коллапс разбухшего гидрогеля, что приводит к лавинообразному выбросу воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Лыков А. В. Теория сушки : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергия, 1968. 472 с.
2. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Лесн. пром-сть, 1987. 360 с.
3. Гороховский А. Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине : автореф. дис. ... д-ра техн. наук (05.21.05 – древесиноведение, технология и оборудование деревообработки). СПб., 2008. 39 с.
4. Шубин Г. С. Физические основы и расчёт процессов сушки древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1973. 248 с.
5. Эффективный антиоксидант из древесины лиственницы / В. А. Бабкин, Ю. А. Малков, Л. А. Остроухова, Н. А. Онучина, Л. А. Еськова // Хвойные бореальной зоны. 2003. № 1. С. 108–113.
6. Якушкина Н. И., Бахтенко Е. Ю. Физиология растений. М. : Владос, 2004. 464 с.
7. Свитцов А. А. Введение в мембранные технологии. М. : ДеЛи принт, 2007. 208 с.
8. Шубин Г. С. Сушка и тепловая обработка древесины : учеб. пособие. М. : Лесн. пром-сть, 1990. 336 с.
9. Зарипов Ш. Г. Режимы сушки лиственничных пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия // Лесной журнал. 2018. № 5. С. 151–160.
10. Зарипов Ш. Г., Корниенко В. А. Массоперенос при конвективной сушке лиственничных пиломатериалов // Хвойные бореальной зоны. 2022. Том XL. № 3. С. 208–216.
11. Зарипов Ш. Г. Совершенствование технологии сушки лиственничных пиломатериалов : дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2016. 243 с.
12. Зарипов Ш. Г., Ермолин В. Н. Перераспределение водорастворимых экстрактивных веществ в древесине лиственницы в процессе конвективной сушки // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 3-4. С. 352–354.
13. Нобел П. Физиология растительной клетки (физико-химический подход); пер. с англ. М. : Мир, 1973. 288 с.
14. Соколик А. И. Введение в системную биологию [Электронный ресурс]. bsu.bioxfbr/files/10_SB.pdf.
15. Левин Э. Д., Денисов О. Б., Пен Р. Э. Комплексная переработка лиственницы. М. : Лесн. пром-сть, 1978. 224 с.
16. Антонова Г. Ф. Некоторые вопросы экстракции водорастворимых полисахаридов древесины лиственницы сибирской // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук, 1967. Вып. 2. № 4. С. 151–157.
17. Антонова Г. Ф. Сравнительное изучение методов экстракции водорастворимых веществ древесины лиственницы сибирской // Исследования в области химии и химической технологии древесины. М., 1963. С. 13–25.
18. Медведева С. А., Александрова Г. П., Танцырев А. П. Гель – проникающая хроматография арабиногалактана // Лесной журнал. 2002. № 6. С. 108–113.
19. Медведева Е. Н., Бабкин В. А., Остроухова Л. А. Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования (обзор) // Химия растит. сырья. 2003. № 1. С. 27–37.
20. Хайдукова Е. В., Новокшанова А. Л. Исследование физико-химических характеристик водного раствора арабиногалактана. e.haidukowa@yandex.ru
21. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Лесн. пром-сть, 1987. 360 с.
22. Чудинов Б. С., Тюриков Ф. Т., Зубань П. Е. Древесина лиственницы и ее обработка. М. : Лесн. пром-сть, 1965. 144 с.
23. Зарипов Ш. Г., Корниенко В. А. Гидролиз при конвективной сушке лиственничных пиломатериалов низкотемпературными режимами // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. XXXVI, № 6. С. 542–548.
24. Папков С. П. Студнеобразное состояние полимеров. М. : Химия, 1974. 256 с.
25. Филиппова О. Е. «Умные» полимерные гидрогели // Природа. 2005. № 8. С. 11–17.
26. Langrish T. A. G., Booker A. S., Davis C. L., Muson H. E., Barton, G. W. An improved drying schedule for Australian ironbark timber: optimisation and experimental verification, *Drying Technol.*, 1997. 15. P. 47–70.
27. Nijdam J. J., Langrish T. A. G., Keey R. B. A high-temperature drying model for softwood timber, *Chem. Eng. Sci.*, 2000. 55. P. 3585–3598.
28. Pandey C. N. Systemization of kiln drying schedules for commercial Indian woods, *Proceedings of the Seventh International IUFRO Wood Drying Conference*, Tsukuba, Japan, 2001. P. 78–83.
29. Perre' P. The drying of wood: the benefit of fundamental research to shift from improvement to innovation, *Proceedings of the Seventh International IUFRO Wood Drying Conference*, Tokyo, Japan, 2001. P. 2–13.
30. Aleon D., Chanrion P., Negrie G., Perre P. *Forma Xylos 4 – Le sechage (Training in Wood Science: Drying, Vol. 4)*, CD-Rom franc,ais/English, CTBA, Paris, 2003.

REFERENCES

1. Ly'kov A. V. Teoriya sushki : uchebnoe posobie. 2-e izd., pererab. i dop. Moskva : E'nergiya, 1968. 472 s.
2. Sergovskij P. S., Rasev A. I. Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny': uchebnik dlya vuzov. 4-e izd., pererab. i dop. Moskva : Lesn. prom-st', 1987. 360 s.
3. Goroxovskij A. G. Tekhnologiya sushki pilomaterialov na osnove modelirovaniya i optimizacii processov

teplomassoperenosa v drevesine: avtoref. dis. ... d-ra techn. nauk (05.21.05 – drevesinovedenie, texnologiya i oborudovanie derevoobrabotki). Sankt-Peterburg, 2008. 39 s.

4. Shubin G. S. Fizicheskie osnovy` i raschyot processov sushki drevesiny`. Moskva : Lesn. prom-st`, 1973. 248 s.

5. E`ffektivny`j antioksidant iz drevesiny` listvennicy / V. A. Babkin, Yu. A. Malkov, L. A. Ostroukova, N. A. Onuchina, L. A. Es`kova // Xvojny`e boreal`noj zony`. 2003. № 1. S. 108–113.

6. Yakushkina N. I., Baxtenko E. Yu. Fiziologiya rastenij. Moskva : Vldos, 2004. 464 s.

7. Svitzov A. A. Vvedenie v membranny`e texnologii. Moskva : DeLi print, 2007. 208 s.

8. Shubin G. S. Sushka i teplovaya obrabotka drevesiny` : ucheb. posobie. Moskva : Lesn. prom-st`, 1990. 336 s.

9. Zaripov Sh. G. Rezhimy` sushki listvennichny`x pilomaterialov v sushil`ny`x kamerax periodicheskogo dejstviya // Lesnoj zhurnal. 2018. № 5. S. 151–160.

10. Zaripov Sh. G., Kornienko V. A. Massoperenos pri konvektivnoj sushke listvennichny`x pilomaterialov // Xvojny`e boreal`noj zony`. 2022. T. XL, № 3. S. 208–216.

11. Zaripov Sh. G. Sovershenstvovanie texnologii sushki listvennichny`x pilomaterialov : dis. ... d-ra techn. nauk. Arxangel`sk, 2016. 243 s.

12. Zaripov Sh. G., Ermolin V. N. Pereraspredelenie vodorastvorimy`x e`kstraktivny`x veshhestv v drevesine listvennicy v processe konvektivnoj sushki // Xvojny`e boreal`noj zony`. 2010. № 3-4. S. 352–354.

13. Nobel P. Fiziologiya rastitel`noj kletki (fiziko-ximicheskij podxod) ; per. s angl. Moskva : Mir, 1973. 288 s.

14. Sokolik A. I. Vvedenie v sistemnyu biologiyu. URL: bsu.bio/fbr/files/10_SB.pdf.

15. Levin E`. D., Denisov O. B., Pen R. E`. Kompleksnaya pererabotka listvennicy. Moskva : Lesn. prom-st`, 1978. 224 s.

16. Antonova G. F. Nekotory`e voprosy` e`kstrakcii vodorastvorimy`x polisaxaridov drevesiny` listvennicy sibirskoj // Izv. SO AN SSSR, ser. xim. Nauk. 1967. Vy`p. 2. № 4. S. 151–157.

17. Antonova G. F. Sravnitel`noe izuchenie metodov e`kstrakcii vodorastvorimy`x veshhestv drevesiny` listvennicy sibirskoj // Issledovaniya v oblasti ximii i ximicheskoy texnologii drevesiny`. Moskva, 1963. S. 13–25.

18. Medvedeva S. A., Aleksandrova G. P., Tancyrev A. P. Gel` – pronikayushhaya xromatografiya arabino-galaktana // Lesnoj zhurnal. 2002. № 6. S. 108–113.

19. Medvedva E. N., Babkin V. A., Ostroukova L. A. Arabinogalaktan listvennicy – svojstva i perspektivy` ispol`zovaniya (obzor) // Ximiya rastit. sy`r`ya. 2003. № 1. S. 27–37.

20. Xajdukova E. V., Novokshanova A. L. Issledovanie fiziko-ximicheskix xarakteristik vodnogo rastvora arabinogalaktana. e.haidukowa@yandex.ru

21. Sergovskij P. S., Rasev A. I. Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny` : uchebnik dlya vuzov. 4-e izd., pererab. i dop. Moskva : Lesn. prom-st`, 1987. 360 s.

22. Chudinov B. S., Tyurikov F. T., Zuban` P. E. Drevesina listvennicy i ee obrabotka. Moskva : Lesn. prom-st`, 1965. 144 s.

23. Zaripov Sh. G., Kornienko V. A. Gidroliz pri konvektivnoj sushke listvennichny`x pilomaterialov nizkotemperaturny`mi rezhimami // Xvojny`e boreal`noj zony`. 2018. T. XXXVI, № 6. S. 542–548.

24. Papkov S. P. Studneobraznoe sostoyanie polimerov. Moskva : Ximiya, 1974. 256 s.

25. Filippova O. E. “Umny`e” polimerny`e gidrogeli // Priroda. 2005. № 8. S. 11–17.

26. Langrish T. A. G., Booker A. S., Davis C. L., Muson H. E., Barton G. W. An improved drying schedule for Australian ironbark timber: optimisation and experimental verification, Drying Technol., 1997. 15. P. 47–70.

27. Nijdam J. J., Langrish T. A. G., Keey R. B. A high-temperature drying model for softwood timber, Chem. Eng. Sci., 2000. 55. P. 3585–3598.

28. Pandey C. N. Systemization of kiln drying schedules for commercial Indian woods, Proceedings of the Seventh International IUFRO Wood Drying Conference, Tsukuba, Japan, 2001. P. 78–83.

29. Perre`P. The drying of wood: the benefit of fundamental research to shift from improvement to innovation, Proceedings of the Seventh International IUFRO Wood Drying Conference, Tokyo, Japan, 2001. P. 2–13.

30. Aleon D., Chanrion P., Negrie G., Perre P. Forma Xylos 4 – Le sechage (Training in Wood Science: Drying, Vol. 4), CD-Rom franc,ais/English, CTBA, Paris, 2003.

© Зарипов Ш. Г., Посыпанов С. В., 2026

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 630.53

DOI: 10.64430/1993-0135-2026-1-89-94

Хвойные бореальной зоны. 2026. Т. XLIV, № 1. С. 89–94

СТРАТЕГИЯ СОЗДАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ПЛАНТАЦИЙ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОТЕХНОЛОГИИ СОМАТИЧЕСКОГО ЭМБРИОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ *Pinus sibirica*)*

И. Н. Третьякова, А. В. Лукина

Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50/28
E-mail: culture@ksc.krasn.ru

Аннотация. Постоянно возрастающий спрос на древесину и другую продукцию лесного комплекса может быть удовлетворен путем создания высокопродуктивных многоцелевых плантаций. Использование технологии соматического эмбриогенеза находит все более широкое применение в производстве посадочного материала для плантаций древесных растений во всем мире. Экологическое и экономическое значение *P. sibirica*, а также особенности его биологии являются факторами, обуславливающими необходимость разработки программ искусственной репродукции. Применение технологии соматического эмбриогенеза для *P. sibirica* позволит максимально раскрыть генетический потенциал вида, обеспечит получение и размножение сортов и клонов с заданными характеристиками.

Ключевые слова: плантационное лесовыращивание, соматический эмбриогенез, клеточная культура *in vitro*, *P. sibirica*, сосна сибирская кедровая.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 89–94

STRATEGY FOR CREATING MULTIPURPOSE CONIFEROUS PLANTATIONS USING SOMATIC EMBRYOGENESIS BIOTECHNOLOGY (CASE STUDY OF *Pinus sibirica*)

I. N. Tretyakova, A. V. Lukina

Sukachev Forest Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences –
a separate division of the FITC KNC SB RAS
50/28, Akademgorodok str., 660036, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: culture@ksc.krasn.ru

Abstract. The ever-increasing demand for timber and other forest products can be met by creating highly productive multivariatal plantations. Somatic embryogenesis technology is increasingly being used in the production of planting material for tree plantations worldwide. The ecological and economic importance of *P. sibirica*, as well as its biology, are factors that necessitate the development of artificial reproduction programs. Application of somatic embryogenesis technology for *P. sibirica* will maximize the genetic potential of the species; ensure the production and reproduction of varieties and clones with specified characteristics.

Keywords: Forest plantation, somatic embryogenesis, cell culture *in vitro*, *P. sibirica*, Siberian stone pine.

ВВЕДЕНИЕ

К 2050 году ожидается значительное увеличение спроса на древесину и недревесную продукцию леса [17]. Удовлетворение этой глобальной потребности человечества невозможно осуществить без создания

высокопродуктивных многоцелевых плантаций, в связи с чем лесные плантации становятся одним из основных направлений развития лесного комплекса во всем мире. Ежегодно в мире создается более 1 млн га плантационных культур [16; 19; 21]. На таких планта-

* Исследования проведены в рамках базового проекта ФИЦ КНЦ СО РАН FWES-2024-0028, № 124012900557-0.

циях заготавливается более трети мирового потребления древесины. Лидерами в данной области являются США и Китай. В последние годы плантационное лесовыращивание получает все более широкое развитие в латиноамериканских странах [23]. Плантационное лесовыращивание позволяет сохранить естественные лесные экосистемы в качестве генетических резерватов, чем способствует сохранению биологического разнообразия [19].

Основное требование при создании плантационных насаждений – использование видов, форм (клонов), сортов, соответствующих целевым качествам (продуктивность, качество древесины и др.) и устойчивых к неблагоприятным факторам среды, климатическим изменениям, вредителям и болезням. Неэффективность традиционных методов селекции для получения сортов лесных древесных растений объясняется их длительным ювенильным периодом, что определяет необходимость разработки и внедрения принципиально новых подходов. В начале XXI века в коммерческом лесоразведении за рубежом было создано новое перспективное направление – сортовое плантационное лесовыращивание на основе Программы Multi-Varietal Forestry, MVF [20], основанной на применении биотехнологии соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro*.

Соматический эмбриогенез – это процесс, при котором зародыш образуется из соматических клеток, в отличие от зиготического – когда зародыш образуется в результате сингамии половых клеток. Соматический эмбриогенез является удобной моделью для проведения фундаментальных биологических работ по изучению процессов раннего онтогенеза растений: механизмов гормональной регуляции, влияния внешних факторов на протекание эмбриологических процессов и т. д. [16]. В последнее время практическая значимость соматического эмбриогенеза становится все более актуальной, о чем свидетельствует стремительное увеличение научных публикаций, посвященных этой теме [13; 21; 23].

Применение геномной селекции и геномного редактирования позволяет значительно ускорить процесс получения посадочного материала с заданными сортовыми признаками [14], что нашло отражение в поручении президента РФ В. В. Путина по итогам совещания с членами Правительства Российской Федерации, прошедшего 14 апреля 2025 года «О целесообразности проведения при участии заинтересованных организаций научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по выведению генномодифицированных пород деревьев с заданными морфологическими свойствами и скоростью роста древесины в целях оценки возможности создания лесных плантаций для коммерческого выращивания и использования такой древесины».

Поскольку в настоящее время только соматический эмбриогенез является единственной реальной способом тиражирования (размножения в экономически целесообразных промышленных объемах) генномодифицированных деревьев, достижения в геномном редактировании могут быть реализованы на практике только при условии возможности управления эмбрио-

генезом и индукции его из недифференцированных соматических клеток [18].

Pinus sibirica сосна кедровая сибирская, кедр сибирский – принадлежит к секции *Quinquefoliae* (пятихвойные), подрода *Strobus* рода *Pinus*. На территории России произрастают 3 вида пятихвойных сосен: *P. sibirica*, *P. koraensis* (кедр корейский) и *P. pumila* (кедровый стланник). Все они являются орехоплодными, что определяет их важнейшую функцию в экологии и экономике регионов произрастания [9]. Постановлением Правительства Российской Федерации от 01.08.2023 № 1248 кедровые орехи признаны стратегически важным товаром. При этом, как и другие представители кедровых сосен, *P. sibirica* не только источник орехов, но и ценной древесины, кедрового масла, живицы и пр. Полифенолы кедровых сосен обладают противомикробной, противовирусной и другими проявлениями фитонцидной активности, что делает их привлекательным сырьем для пищевой, фармацевтической и косметологической промышленности [3].

Селекционно-генетические и интродукционные работы с кедром проводятся давно – первые посадки кедра вне естественного ареала произрастания были сделаны еще в начале 17 века [10], а в настоящее время плодоносящие посадки есть на Украине, в Воронежской, Мурманской, Ленинградской, Московской областях и других регионах России [2; 4; 5; 9; 12]. В результате анализа перспективности выращивания *P. sibirica* в условиях Крайнего Севера высказано предположение о возможности успешной интродукции севернее границ естественного ареала при использовании селекционных методов и инновационных технологий [1].

В пределах естественного ареала (на Алтае, в Красноярском крае, Новосибирской и Томской области) созданы обширные коллекции хозяйственно-ценных форм *P. sibirica*. Проведены и продолжаются работы по селекционной оценке и проведению отбора *P. sibirica* по целевым назначениям: показателям разных аспектов урожайности, ускорения репродуктивного развития, смолопродуктивности и декоративных свойств [5; 6; 7; 9; 24].

Разрабатываются и совершенствуются методики ранней диагностики на основе связи селекционно-значимых признаков плюсовых деревьев, семей и клонов с их характеристиками на стадии всходов и сеянцев [6; 7].

Необходимым в современных условиях логическим продолжением селекционных работ с созданным ценным генофондом *P. sibirica* являются молекулярно-генетические исследования для проведения генетической паспортизации клонового, а в будущем и сортового потомства, для чего были подобраны и протестированы генетические маркеры *P. sibirica* [11].

В тоже время для достижения максимального эффекта от результатов селекционной работы с *P. sibirica* необходимо развитие инновационных подходов. Традиционные методы вегетативного размножения – черенкование и прививки позволяя проводить научные исследования малоэффективны и экономически нецелесообразны для производства посадочного

материала хвойных в объемах достаточных для лесовосстановления и закладки промышленных плантаций [8; 13; 19]. В связи с чем разработка технологии соматического эмбриогенеза является важным фактором сохранения, мобилизации и применения генетического разнообразия этого вида для обеспечения устойчивого технологического и научного развития Российской Федерации.

Цель настоящей работы – на примере сосны кедровой сибирской показать перспективы использования соматического эмбриогенеза в производстве посадочного материала для создания высокопродуктивных многоцелевых лесных плантаций.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В течение ряда лет в лаборатории лесной генетики и селекции института Леса проводятся эксперименты по инициации соматического эмбриогенеза у *P. sibirica*. В качестве источников эксплантов для исследования служили деревья из естественного древостоя, а также искусственных насаждений клонового архива Западно-Саянского опытного лесного хозяйства, расположенного на территории Даурского лесничества вблизи пос. Ермаковское (53°16' с. ш., 92°23' в. д., высота над уровнем моря 300–320 м) (Ермаковский район, Красноярский край). Всего было исследовано 20 деревьев. Для исследования влияния сроков отбора эксплантов растительные образцы собирали начиная с первой декады июня до окончания второй декады июля с интервалом 3–7 дней. В качестве эксплантов использовали мегагаметофиты с интактными зародышами, которые после стерилизации (10 % H₂O₂ в течение 8 мин) в асептических условиях ламинарного бокса помещали на среду DCR. В ходе экспериментов было протестировано несколько вариантов сред для инициации, различающихся гормональным составом и источником углеводов (табл. 1), установлено значение даты сбора эксплантов (стадии развития зародыша), а также влияние стратификации эксплантов (обработки низкими положительными температурами) на инициацию соматического эмбриогенеза у *P. sibirica*.

Статистическую обработку полученных данных проводили по стандартным методикам, с помощью программы Microsoft Excel 2003. Обобщались данные, полученные в ходе исследований, проведенных в 2011–2014, 2022–2025 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первые отклики на введение в условия *in vitro* наблюдали на 3–4 неделе культивирования. Инициация соматического эмбриогенеза начинается с экструзии – выдавливания наружу внутреннего содержимого мегагаметофитов (рис. 1, а).

К эмбриогенным клеточным культурам относили пролиферирующие клеточные массы, состоящие из двух типов клеток: окрашенных глобул и прозрачных вытянутых суспензоров (рис. 1, б). Данные структуры являются цитологическими индикаторами эмбриогенной компетентности полученных клеточных линий, которая может быть реализована при дальнейших манипуляциях [16; 22].

В культуре *in vitro* проявляются особенности эмбриогенеза видов рода *Pinus*: для данного рода характерно наличие кливажа в раннем эмбриогенезе. Кливаж представляет собой продольное расщепление первичного проэмбрио, в результате которого образуется несколько генетически идентичных зародышей. По-видимому, именно кливаж является механизмом пролиферации эмбриогенных клеточных линий (рис. 1 в, г). Таким образом, инициация соматического эмбриогенеза у *P. sibirica* связана с активацией и поддержанием активности кливажных процессов.

Результаты наших исследований показывают, что стадия развития экспланта является важнейшим фактором, определяющим успешность инициации. Максимальные значения были получены при использовании в качестве эксплантов мегагаметофитов с интактными зародышами, находящихся на предсемядольной стадии развития. Период вступления в компетентную фазу в значительной степени определяется текущими погодными условиями, (возможно суммой эффективных температур), при этом продолжительность компетентной фазы составляет не более 2–3 суток. По данным наших наблюдений, максимальные значения уровня инициации были получены при введении в культуру мегагаметофитов на 12–15 сутки после оплодотворения.

Установлено, что на успешность инициации оказывают влияние генотип дерева-донора эксплантов (рис. 2, а), гормональный и углеводный состав питательной среды (рис. 2, б), обработка низкими положительными температурами.

Наблюдаемые различия в уровне инициации соматического эмбриогенеза между отдельными особями могут объясняться наличием в популяции индивидуальной изменчивости в отношении времени наступления и продолжительности определенных фаз развития.

Увеличение уровня инициации будет способствовать возможности включения в программу размножения более широкого спектра генотипов и снижению стоимости технологии, что является необходимым условием для промышленного применения технологии.

В настоящее время ведутся работы над следующим этапом технологии соматического эмбриогенеза – пролиферацией клеточных культур. В данный период важно обеспечить быстрый рост биомассы без потери эмбриогенной компетентности.

Таблица 1

Среды, протестированные в ходе эксперимента по инициации соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro*

	Макро-микроэлементы	Источник углеводов	Концентрация эндогенных регуляторов роста
Среда 1	DCR	Сахароза 30 г/л	2,4 Д 2 мг/л, 6-БАП 1 мг/л
Среда 2	DCR	Глюкоза 30 г/л	2,4 Д 2 мг/л, 6-БАП 1 мг/л
Среда 3	DCR	Сахароза 30 г/л	2,4 Д 1 мг/л, 6-БАП 0,5 мг/л

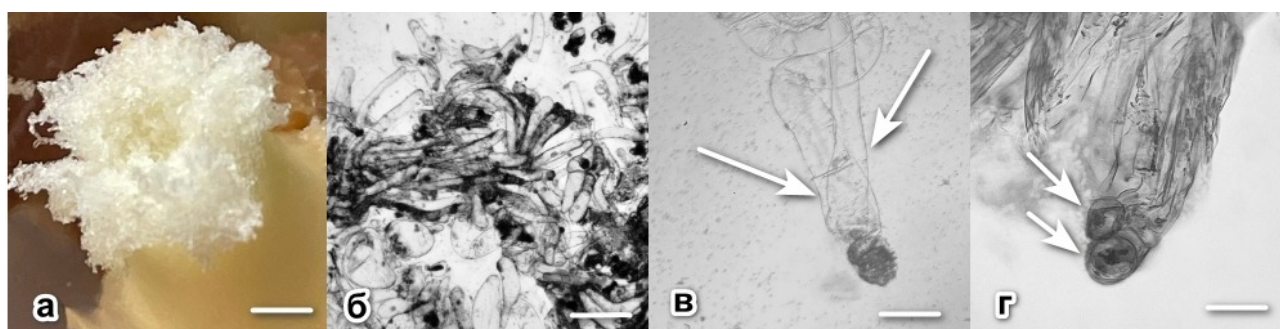
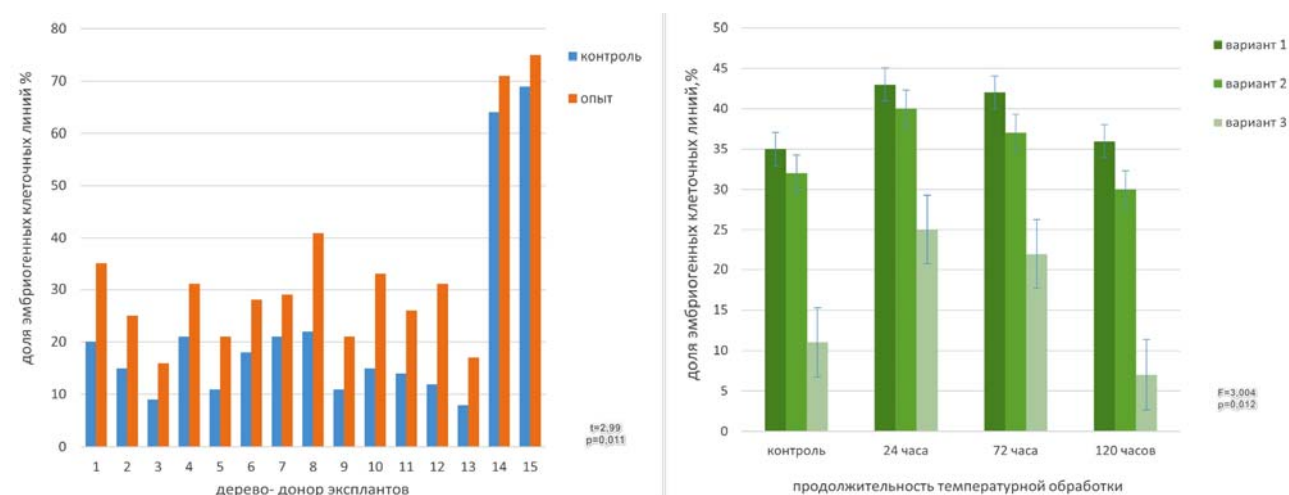


Рис. 1. Инициация соматического эмбриогенеза у *P. sibirica*:

а – экструзия эмбрионально-суспензорной массы из мегагаметофита; б – эмбрионально-суспензорная масса х 40; в, з – кливажные процессы в эмбрионально-суспензорной массе



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, стратегия создания высокопродуктивных многоцелевых плантаций *P. sibirica* может включать следующие этапы.

1. Отбор родительских особей с желаемыми целевыми признаками (быстрый рост, высокая урожайность, устойчивость к экологическим факторам).
2. Проведение искусственного контролируемого опыления (для увеличения вероятности захвата генов, кодирующих необходимые признаки).
3. Инициация соматического эмбриогенеза
4. Отбор полученных клеточных линий на основе данных ранней генетической диагностики (маркер-ориентированная селекция).
5. Геномное редактирование.
6. Криоконсервация эмбриогенных клеточных линий до получения результатов нативных испытаний.
7. Получение проростков, адаптация к условиям *ex vitro* и проведение полевых испытаний.
8. Разморозка и наращивание эмбрионально-суспензорной массы (тиражирование подтвержденных элитных генотипов) в биореакторах.
9. Получение массового генетически идентичного сортового посадочного материала.

Разработка и последующее внедрение в практическое применение технологии соматического эмбри-

генеза для *P. sibirica* требует консолидации усилий исследователей разных областей биологических наук (лесоводов, селекционеров, молекулярных генетиков, биотехнологов), а также представителей бизнеса и производителей посадочного материала.

В дальнейшем совершенствование и оптимизация методов соматического эмбриогенеза для сосны кедровой сибирской позволит использовать передовые конкурентоспособные технологии в отечественном лесоводстве и лесовосстановлении и будет содействовать развитию биоэкономики в Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Братилова Н. П., Щерба Ю. Е., Мантулина А. В., Коновалова Д. А. Перспективы выращивания сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) в условиях Крайнего Севера // Хвойные бореальной зоны. 2024. № 2. С. 38–45.
2. Брынцев В. А. Рост и семеношение сосны кедровой сибирской в интродукционных культурах плантационного типа. // Хвойные бореальной зоны. 2025. № 3. С. 44–50.
3. Иванов В. А., Лис Е. В., Фибих Е. В. и др. Исследование химического состава шишек и семян хвойных пород Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2023. № 1. С. 95–100.

4. Ившина В. О. Селекция кедра сибирского как орехоплодной породы // Вавиловские чтения. Наследие Н. И. Вавилова в современной науке. 2019. С. 32–35.
5. Ирошников А. И., Твеленёв М. В. Изучение генотипа, интродукции и селекции кедровых сосен // Лесоведение, 2001. № 4. С. 62–68.
6. Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Исследования по выращиванию сосны кедровой сибирской за многолетний период // Хвойные бореальной зоны. 2022. № 5. С. 374–380.
7. Матвеева Р. Н., Комаров И. В., Гришлова М. В. Отселектированные 20-летние деревья сосны кедровой сибирской по интенсивности роста и раннему репродуктивному развитию // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. 43, № 2. С. 35–40.
8. Лесная селекция в России: достижения, проблемы, приоритеты (обзор) / В. В. Тараканов, М. М. Паленова, О. В. Паркина и др. // Лесохозяйственная информация. 2021. № 1. С. 100–143.
9. Титов Е. В. Плантационное лесовыращивание кедровых сосен. Воронеж : ВГЛУ, 2004. 165 с.
10. Титов Е. В. История выращивания и перспективы плантационного ореховодства кедровых сосен в восточной Европе // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 5. С. 404–409.
11. Щерба Ю. Е., Ибе А. А., Сухих Т. В. Воспроизводство сосны кедровой сибирской на генетико-селекционной основе // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 5. С. 401–407.
12. Хамитов Р. С., Хамитова С. М. Динамика урожайности интродукционных культур сосны кедровой сибирской в Вологодской области // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XXXIX, № 1. С. 62–68.
13. Aronen T., Sota V., Cvjetković B. et al. From lab to forest: overcoming barriers to in vitro propagation of forest trees. // J. For. Res. 2025. №36, 120. <https://doi.org/10.1007/s11676-025-01914-y>
14. Chang S., Mahon E. L., MacKay H. A. et al. Genetic engineering of trees: progress and new horizons. // In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant. 2018. № 54, p. 341–376 <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9914-1>.
15. Egertsdotter U., Ahmad I., Clapham D. Automation and scale up of somatic embryogenesis for commercial plant production, with emphasis on conifers. // Front. Plant. Sci. 2019. № 10:109. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00109>
16. Egertsdotter U. Plant physiological and genetical aspects of the somatic embryogenesis process in conifers. // Scandinavian Journal of Forest Research. 2019. № 34:5, p. 360–369.
17. FAO (2022) The State of the World's Forests Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. 2022. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
18. Method for genetic transformation using embryonic callus of *Pinus koraiensis* / H. Hou, Y. Wu, L. Yang et al. // Forests. 2024, 15: 2058. <https://doi.org/10.3390/f15122058>
19. Conventional versus non-conventional methods of propagation of forest tree species: applications and limitations / K. A. Manohar, G. Shukla, N. N. Shahina et al. // Thomas T. D., Razdan M. K., Kumar A. (eds). Biotechnological Approaches for sustaining forest trees and their products. Springer, Singapore. 2024. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4363-6_18/
20. Park Y. S. Conifer Somatic Embryogenesis and Multi-Varietal Forestry. In: Fenning, T. (eds) Challenges and opportunities for the World's forests in the 21st century. forestry sciences. 2014. Vol. 81. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7076-8_17
21. Patel J., Chaudhari A. Biotechnology tools for the improvement of forestry: A review European journal of biotechnology and bioscience 2021. Vol. 9, Iss. 3. P. 35–40.
22. Peng C., Gao F., Wang H. et al. Morphological and physiological indicators for screening cell lines with high potential for somatic embryo maturation at an early stage of somatic embryogenesis in *Pinus koraiensis* // Plants. 2022. Vol. 11, 1867. <https://doi.org/10.3390/plants11141867>
23. Rodríguez S. M., Ordás R. J., Alvarez J. M. Conifer biotechnology: an overview // Forests. 2022. Vol. 13. A. 1061. <https://doi.org/10.3390/f13071061>

REFERENCES

1. Bratilova N. P., Shcherba Yu. E., Mantulina A. V., Konovalova D. A. Perspektivy vyrashchivaniya sosny kedrovoy sibirskoy (*Pinus sibirica* Du Tour.) v usloviyah Krajnego Severa // Hvojnye boreal'noj zony. 2024. № 2. S. 38–45.
2. Bryncev V. A. Rost i semenoshenie sosny kedrovoy sibirskoy v introdukcionnyh kul'turah plantacionnogo tipa // Hvojnye boreal'noj zony. 2025. № 3. S. 44–50.
3. Ivanov V. A., Lis E. V., Fibih E. V. i dr. Issledovanie himicheskogo sostava shishek i semyan hvoynyh porod Sibiri // Hvojnye boreal'noj zony. 2023. Т. 1. S95–100.
4. Ivshina V. O. Seleksiya kedra sibirskogo kak orekhoplodnoy porody // Vavilovskie chteniya. Nasledie N. I. Vavilova v sovremennoy nauke. 2019. S. 32–35.
5. Iroshnikov A. I., Tvelenyov M. V. Izuchenie genofonda, introdukcii i selekcii kedrovyyh sosen // Lesovedenie, 2001. № 4. S. 62–68.
6. Matveeva R. N., Butorova O. F. Issledovaniya po vyrashchivaniyu sosny kedrovoy sibirskoy za mnogoletnij period // Hvojnye boreal'noj zony. 2022. № 5. S. 374–380.
7. Matveeva R. N., Komarov I. V., Grishlova M. V. Otselektirovannye 20-letnie derev'ya sosny kedrovoy sibirskoy po intensivnosti rosta i rannemu reproductivnomu razvitiyu // Hvojnye boreal'noj zony. 2025. Т. 43, № 2. S. 35–40.
8. Tarakanov V. V., Palenova M. M., Parkina O. V. Lesnaya seleksiya v Rossii: dostizheniya, problemy, prioritety (obzor) // Lesokhozyaystvennaya informatsiya. 2021. № 1. S. 100–143.
9. Titov E. V. Plantacionnoe lesovyrashchivanie kedrovyyh sosen. Voronezh : VGLTU, 2004. 165 s.
10. Titov E. V. Istoriya vyrashchivaniya i perspektivy plantacionnogo orekhovodstva kedrovyyh sosen v vostochnoj Evrope Hvojnye boreal'noj zony. 2022. Т. XL, № 5. S. 404–409

11. Shcherba Y. E., Ibe A. A., Suhli T. V. *Vosproizvodstvo sosny kedrovoj sibirskoj na genetiko-selekcionnoj osnove Hvojnye boreal'noj zony*. 2021. T. XXXIX, № 5. S. 401–407.
12. Hamitov R. S., Hamitova S. M. *Dinamika urozhasnosti introdukcionnyh kul'tur sosny kedrovoj sibirskoj v Vologodskoj oblasti // Hvojnye boreal'noj zony*. 2025. T. № 1. S. 62–68.
13. Aronen, T., Sota, V., Cvjetković, B. et al. From lab to forest: overcoming barriers to in vitro propagation of forest trees. *J. For. Res.* 2025. № 36, 120. <https://doi.org/10.1007/s11676-025-01914-y>
14. Chang, S., Mahon, E.L., MacKay, H.A. et al. Genetic engineering of trees: progress and new horizons. In *Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant*. 2018. № 54, p. 341–376. <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9914-1>
15. Egertsdotter U., Ahmad I., Clapham D. Automation and scale up of somatic embryogenesis for commercial plant production, with emphasis on conifers. *Front Plant Sci.* 2019. № 10:109. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00109>
16. Egertsdotter U. Plant physiological and genetical aspects of the somatic embryogenesis process in conifers, *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2019. № 34:5, p. 360–369.
17. FAO (2022) *The State of the World's Forests Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies*. 2022. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>
18. Hou H., Wu Y., Yang L. et al. Method for genetic transformation using embryonic callus of *Pinus koraiensis*. *Forests*. 2024, 15: 2058. <https://doi.org/10.3390/f15122058>
19. Manohar K. A., Shukla G., Shahina N. N. et al. Conventional Versus Non-Conventional Methods of Propagation of Forest Tree Species: Applications and Limitations. In: Thomas T. D., Razdan M. K., Kumar A. (eds) *Biotechnological Approaches for Sustaining Forest Trees and Their Products*. Springer, Singapore 2024. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4363-6_18
20. Park Y. S. Conifer Somatic Embryogenesis and Multi-Varietal Forestry. In: Fenning, T. (eds) *Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century*. Forestry Sciences. 2014. Vol 81. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7076-8_17
21. Patel Chaudhari A. Biotechnology tools for the improvement of forestry: A review *European Journal of Biotechnology and Bioscience* 2021. Vol. 9, Iss. 3. P. 35–40.
22. Peng C., Gao F., Wang H. et al. Morphological and Physiological Indicators for Screening Cell Lines with High Potential for Somatic Embryo Maturation at an Early Stage of Somatic Embryogenesis in *Pinus koraiensis*. *Plants* 2022, 11, 1867. <https://doi.org/10.3390/plants11141867>
23. Rodríguez S. M., Ordás R. J., Alvarez J. M. Conifer Biotechnology: An Overview // *Forests*. 2022. Vol. 13. A. 1061. <https://doi.org/10.3390/f13071061>

© Третьякова И. Н., Лукина А. В., 2026

Поступила в редакцию 04.12.2025
Принята к печати 20.02.2026

СОВРЕМЕННЫЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПЕРЕРАБОТКЕ И СОХРАНЕНИЮ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ (на примере *Orthilia secunda* L.)

Ж. А. Кох¹, А. А. Коротков²

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: ¹jannetta-83@mail.ru, ²hbz@sibsau.ru

Аннотация. Традиционные методы переработки лекарственного растительного сырья не позволяют получать продукцию с высокими потребительскими характеристиками. Для более рационального использования ресурсов лекарственных растений региона необходима разработка и внедрение современных технологий переработки, обеспечивающих выпуск экологически чистой продукции с улучшенными качественными показателями. Одним из перспективных подходов является культивирование клеток и тканей растений *in vitro*. Данная биотехнология не только способствует оптимизации производства, но и рассматривается как альтернативный способ сохранения генофонда ценных лекарственных видов. Цель настоящего исследования заключалась во введении в культуру *in vitro* вида *Orthilia secunda* (ортилия однобокая) с последующим сравнительным изучением химического состава интактных растений и полученной каллусной ткани.

Ключевые слова: культивирование, культура клеток, каллус, регуляторы роста, биологически активные вещества.

Conifers of the boreal area. 2026, Vol. XLIV, No. 1, P. 95–101

CONTEMPORARY BIOTECHNOLOGICAL STRATEGIES FOR THE PROCESSING AND PRESERVATION OF MEDICINAL PLANTS: *Orthilia secunda* L. AS A MODEL OBJECT

Zh. A. Kokh¹, A. A. Korotkov²

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: ¹jannetta-83@mail.ru, ²hbz@sibsau.ru

Annotation. Traditional methods of processing of medicinal plant raw materials do not yield products with high consumer characteristics. For more rational utilization of regional medicinal plant resources, it is necessary to develop and implement modern processing technologies that ensure the production of environmentally clean products with improved quality indicators. One promising approach is the cultivation of plant cells and tissues *in vitro*. This biotechnology not only contributes to production optimization but is also considered an alternative method for preserving the gene pool of valuable medicinal species. The aim of the present study was to introduce *Orthilia secunda* (one-sided wintergreen) into *in vitro* culture, followed by a comparative analysis of the chemical composition of intact plants and the obtained callus tissue.

Keywords: cultivation, cell culture, callus, growth regulators, biologically active substances.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование и сохранение биоразнообразия растений представляют собой необходимое условие для поддержания экологического баланса и обеспечения устойчивого экономического развития общества. Сохранение биоразнообразия напрямую связано с задачей рационального использования биологических ресурсов, среди которых особую ценность имеют полезные растительные виды. Наибольшего внимания требуют растения, уже используемые человеком (лекарственные, эфирномасличные, ароматические и пр.), а также виды, обладающие потенциальной по-

лезностью. Для них первоочередными являются меры по охране и детальному научному изучению [1; 2].

Лесные ресурсы Сибири представляют собой чрезвычайно ценный и ещё слабо освоенный источник высококачественного растительного сырья. Растения служат источником многочисленных биологически активных соединений, применяемых в различных сферах человеческой деятельности. Необходимость качественного и количественного анализа природных биологически активных соединений и их композиций обусловлена также тем, что их воздействие на организм человека зачастую сопоставимо

с эффектом фармацевтических препаратов. Изучением подобных комплексов природных веществ занимается фитохимия. Благодаря разнообразным видам биологической активности (антиоксидантной, иммуномодулирующей, противовирусной, противоаллергической, антибактериальной и др.) эти соединения находят применение в медицине, косметологии, пищевой промышленности и сельском хозяйстве [1; 3; 6].

Таким образом, получение новых данных о количественном составе природных композиций биологически активных соединений имеет высокую значимость как для фундаментальной науки, так и для прикладных исследований.

Почти все природные биологически активные комплексы являются многокомпонентными смесями. Ключевая задача фитохимического анализа заключается в идентификации максимально возможного числа компонентов в экстрактивных смесях. Выделение и определение отдельных соединений из таких сложных природных смесей, состоящих из структурно и по свойствам близких веществ, представляет собой нетривиальную проблему. Для её решения в современной науке существуют различные методологические подходы [4; 12].

Метод культивирования растительных тканей и органов *in vitro* лег в основу ряда современных клеточных технологий. Эти технологии позволяют производить ценные вторичные метаболиты растений, включая гликозиды, алкалоиды и другие биологически активные соединения [12–16].

Ключевыми преимуществами клеточных культур перед традиционным растительным сырьем (дикорастущим или выращенным на плантациях) являются: независимость от внешних факторов: возможность производства целевых веществ без влияния климатических и почвенных условий; контролируемость процесса: оптимизация и стандартизация условий культивирования для стабильного выхода продукта [12; 20].

Кроме того, культивируемые клетки и ткани представляют собой удобную модель для фундаментальных исследований. Они используются в изучении клеточного метаболизма и его регуляции, онтогенеза, генетики и вирусологии растений. Преимущества такого моделирования заключаются в простоте системы, возможности быстрого наращивания биомассы в стерильных и полностью контролируемых условиях [18].

Методы культуры изолированных тканей и органов также открывают широкие перспективы для сохранения биоразнообразия. С помощью клонального микроразмножения возможно массовое воспроизводство и сохранение ценного генофонда различных древесных и травянистых растений. В последнее десятилетие множество видов было введено в культуру различными биотехнологическими лабораториями, где создаются коллекции для их дальнейшего размножения. Клональное микроразмножение обеспечивает круглогодичное получение необходимого количества растений для целей интродукции, оздоровления от патогенов и омоложения посадочного материала. Таким образом, биотехнологические подходы предлагают эффективное решение проблемы сохранения генетических ресурсов растений [12–14].

Настоящая работа посвящена изучению возможности введения в асептическую культуру *Orthilia secunda*.

Ортилия однобокая (*Orthilia secunda*) – вид цветковых растений, единственный в роде *Orthilia* семейства Вересковые (Ericaceae). Ранее это растение относили к роду Грушанка (*Rhynchospora*). Среди его распространённых названий – однобокая грушанка, боровая косточка, зимолубка однобокая [7; 9].

Orthilia secunda – многолетнее травянистое растение, широко используемое в народной медицине, преимущественно в Сибири и на Дальнем Востоке России, а также в других северных регионах. Его надземная часть богата фенольными соединениями, включая флавоноиды (кверцетин, кемпферол), кумарины, хиноны (арбутин, гидрохинон), что обуславливает широкий спектр фармакологической активности. Коммерческий и медицинский спрос привел к истощению природных зарослей, что потребовало включения вида в региональные Красные книги. В этом контексте биотехнологические методы, в частности культура тканей *in vitro*, становятся незаменимым инструментом для:

1. Массового клонального размножения с целью реинтродукции и создания плантаций.
2. Получения стандартизованного по составу БАВ сырья в контролируемых условиях.
3. Исследования биосинтеза вторичных метаболитов и разработки путей его интенсификации.

Orthilia secunda является миксотрофом: примерно половину необходимого углерода она получает через микоризные грибы, которые, в свою очередь, связаны с корневыми системами окружающих деревьев. Вид имеет циркумбореальное распространение и встречается на большей части Северного полушария, включая Сибирь. Типичные места произрастания – влажные хвойные леса и затенённые скалистые склоны [8–11].

Согласно данным литературы [1; 2; 4; 7; 8], ортилия однобокая содержит ряд биологически активных соединений, таких как дубильные вещества, флавоноиды, арбутин, сапонины, горечи, органические кислоты и камеди. Благодаря такому составу растение традиционно используется в народной медицине как диуретическое и антисептическое средство при воспалительных заболеваниях почек и мочевого пузыря. В качестве лекарственного сырья заготавливают надземные части растения (листья, стебли, цветки), отличающиеся высокой концентрацией биоактивных веществ.

Известно, что химический состав и свойства растительного сырья даже в пределах одного вида могут существенно варьировать в зависимости от географического местопроизрастания, времени сбора, условий хранения и обработки. Поэтому, прежде чем рассматривать *Orthilia secunda* в качестве источника лекарственных субстанций или антиоксидантов для медицинского применения, необходимо детально изучить свойства экстрактов, полученных из сырья конкретного региона [1; 11].

В связи с этим исследование качественного и количественного состава биологически активных веществ ортилии однобокой, произрастающей на терри-

тории Красноярского края, представляет значительный научный и практический интерес.

Вторичный метаболизм культур растительных клеток представляет всё больший интерес для науки. Главной причиной этого является промышленный потенциал таких культур как устойчивого источника ценных специализированных метаболитов. Учитывая потребности медицины, пищевой, парфюмерной промышленности и сельского хозяйства, возникает очевидная необходимость в замене традиционного сырья (плантационного или дикорастущего) на гарантированно производимую биомассу культивируемых клеток, которая будет содержать требуемые соединения в необходимых количествах. *In vitro* культуры тканей могут служить эффективным источником множества растительных веществ, ради которых сегодня эксплуатируются природные популяции или возделываются сельскохозяйственные посадки [3].

Как правило, концентрация целевых соединений в культуре ткани в 5–10 раз ниже, чем в интактном растении, однако для некоторых видов культур она, напротив, оказывается выше. Урожайность биомассы обычно возрастает при использовании метода суспензионного культивирования в жидких питательных средах с аэрацией. На содержание целевых метаболитов также можно влиять, модифицируя состав питательной среды. Таким образом, ключевой задачей в работе с каллусными культурами является изучение закономерностей биосинтеза вторичных метаболитов и поиск способов индукции этого синтеза *in vitro* для селекции высокопродуктивных клеточных линий. Многие из этих соединений обладают выраженной биологической активностью.

Перспективным объектом для получения биологически активных веществ с терапевтическим потенциалом является ортилия однобокая (*Orthilia secunda*).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Растительный материал для химического анализа был собран в природных популяциях *Orthilia secunda* L. в период полного цветения (первая декада июля). Места сбора расположены в Красноярском крае (Емельяновский район). Собранные образцы (рис. 1) были высушены до воздушно-сухого состояния в соответствии со стандартными методами, принятыми в биохимии и биотехнологии растительного сырья. Результаты сравнительного анализа биохимического состава представлены в табл. 1.

В качестве эксплантов для культивирования *in vitro* использовали здоровые вегетирующие растения *O. secunda*, собранные в природной популяции. Для инициации каллуса наиболее пригодными эксплантами являются: сегменты листовой пластинки (5×5 мм) без центральной жилки; черешки листьев (длиной 5–7 мм); сегменты стебля (интерноды длиной 5 мм).

Экспланты подвергали поэтапной стерилизации:

1. Механическая очистка и промывание в проточной воде с детергентом (20 мин).

2. Обработка 70 % этанолом в течение 60 секунд.

3. Стерилизация в растворе хлорамина Б (5–7 %) или дихлорида ртути (0,1 %) в течение 8–10 минут при постоянном встряхивании.

4. Трехкратное промывание стерильной дистиллированной водой в ламинарном боксе.



Рис. 1. *Orthilia secunda* L. произрастающая на территории Красноярского края Емельяновского района

Для культивирования стерильных эксплантов использовали следующие питательные среды и условия культивирования.

1. Базовая среда: Полуконцентрированная среда Мурасиге и Скуга (1/2 MS).

2. Регуляторы роста для индукции каллуса: комбинация ауксина 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) в концентрации 1,0–2,0 мг/л и цитокинина – 6-бензиламинопурина (6-БАП) или кинетина в концентрации 0,1–0,5 мг/л.

3. Гелирующий агент: агар-агар (7 г/л).

4. Условия: температура +24±2 °С, темнота или рассеянный свет (фотонным потоком 30–40 мкмоль/м²·с) при 16-часовом фотопериоде. Культивирование в темноте, как правило, способствует более активному каллусообразованию.

Контроль за ростом и жизнеспособностью культуры является обязательным условием при работе с клеточными культурами. В экспериментах с каллусными тканями для обеспечения статистической достоверности данных принято использовать от 3 до 10 биологических повторностей, представленных отдельными пробирками с эксплантами.

В рамках настоящей работы для количественной оценки роста на каждом варианте питательной среды формировали независимую выборку из 10 пробирок. Средние значения для каждой временной точки рассчитывали на основе данных по этой выборке. Для измерения прироста биомассы применяли прямой весовой метод: каллус аккуратно извлекали из пробирки и определяли его сырую массу на аналитических весах. Взвешивания проводили регулярно с 4-суточным интервалом, следуя установленным протоколам [12–14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований биохимического состава надземной части *Orthilia secunda* (табл. 1) можно сделать вывод о том, что надземная часть растения содержит значительное количество экстрактивных веществ, пигментов (в частности хлорофиллов), а также фенольных соединений, таких как катехины, флавоноиды и кверцетин. Особого внимания заслуживает высокое содержание кверцетина в *Orthilia secunda* L. Данное соединение, относящееся к группе флавоноидных антиоксидантов, считается одним из наиболее биодоступных природных флавоноидов. Известно, что кверцетин обладает способностью эффективно проникать в клетки, оказывая положительное влияние на иммунную систему и подавляя воспалительные реакции, инициируемые лейкоцитами или другими внутриклеточными агентами.

Учитывая значительное содержание ценных биологически активных соединений, *Orthilia secunda* L. была выбрана в качестве перспективного объекта для культивирования в *in vitro*. Основной целью данного подхода является увеличение выхода целевых метаболитов и обеспечение их стабильного получения.

Успешное микроклональное размножение требует использования исходного материала, обладающего полной генетической стабильностью. Этому критерию в полной мере соответствуют ювенильные (молодые) побеги длиной 8–12 мм и пазушные почки стеблевого происхождения размером 5–7 мм.

На начальном этапе важно было подобрать оптимальные условия для стерилизации эксплантов *Orthilia secunda*.

Наибольшая эффективность каллусообразования была достигнута на питательной среде с минеральной основой по Гамборгу (B5), обогащенной высокими концентрациями инозитола (20000 мг/л), а также регуляторов роста α -НАА (2,5 мг/л) и 6-БАП (1,5 мг/л). На среде Мурасиге и Скуга (MS) оптимальные ре-

зультаты получены при добавлении регуляторов роста α -НАА, 6-БАП и кинетина в концентрациях 4,0, 2,5 и 0,8 мг/л соответственно (табл. 2).

Процент каллусообразования эксплантов *Orthilia secunda* L. зависел от состава питательной среды. На среде MS каллус индуцировался у 90,4 % эксплантов. При этом у 65,7 % образцов наблюдалось образование побегов, а у 8,4 % – ризогенез. Первые признаки каллусообразования регистрировались на 20-е сутки культивирования, а ризогенез инициировался на 41-е сутки. Каллусная ткань на данной среде характеризовалась рыхлой, мелкозернистой структурой и желтой окраской (рис. 2).

На среде B5 общая частота каллусообразования составила 92,7 %, с образованием побегов у 72,8 % и корней у 10,3 % эксплантов. Индукция каллуса отмечалась раньше – на 15-е сутки, а начало органогенеза – на 37-е сутки. Каллус, полученный на этой среде, имел плотную, крупнозернистую структуру и зеленую окраску (рис. 3).

Меньший процент каллусообразования из эксплантов *Orthilia secunda* L. на среде MS содержащей α -НУК (2,5 мг/л) и 6-БАП (1,5 мг/л) и на питательной среде B5 содержащей 6-БАП (2 мг/л) и КИН (1,5 мг/л).

Содержание биологически активных соединений в каллусной ткани *Orthilia secunda* L. определяли с использованием стандартных методик, применяемых для анализа растительного сырья. Перед анализом в каждом образце измеряли влажность, что позволило в дальнейшем пересчитать полученные результаты на абсолютно сухое вещество.

По результатам эксперимента установлено, что содержание влаги в каллусной ткани *Orthilia secunda* L. варьировало в зависимости от состава питательной среды: на среде Мурасиге-Скуга этот показатель составил 10,4 %, а на среде Гамборга (B5) – 8,7 %. Данные о количественном содержании биологически активных веществ в каллусной ткани, полученной *in vitro*, приведены в табл. 3.

Таблица 1

Биохимический состав *Orthilia secunda* L. произрастающих на территории Красноярского края

Показатель	Содержание компонента, % от а.с.с.
Экстрактивные вещества	25,7
Сумма углеводов	28,9
– моносахариды	19,5
– дисахариды	9,4
Липиды, в том числе:	2,9
– фосфолипиды	1,5
– гликолипиды	0,2
– нейтральные липиды	1,2
Арбутин	16,1
Фенольные соединения, в том числе:	45,0
– флавоноиды	3,1
– катехины	3,8
– дубильные вещества	12,5
– кверцетин	25,6
Сапонины	0,3
Белок	2,8
Пигменты, в том числе:	18,0
– хлорофилл a + хлорофилл b	16,9
– каротиноиды	1,1
Аскорбиновая кислота, мг %	0,07
Зольные вещества	4,1

Таблица 2
Органогенез на среде с минеральной основой по Гамборгу (B5) и MS

Концентрация регуляторов роста в среде, мг/л	Общее каллусообразование на среде, %		Формирование органов			
			побегов		корней	
	MS	B5	MS	B5	MS	B5
α -НУК – 2,5; 6-БАП – 1,5.	63,2	92,7	50,3	72,8	6,8	10,3
6-БАП – 2; КИН – 1,5;	84,6	79,5	15,4	49,5	7,1	6,7
α -НУК – 4; 6-БАП – 2,5; КИН – 0,8.	90,4	80,6	65,7	51,4	8,4	8,3



а



б

Рис. 2. Каллусная ткань *Orthilia secunda* L. культивируемая на питательной среде:
 а – Мурасиге-Скуга; б – Гамборга (B5)

Таблица 3
Биохимический состав каллусной культуры *Orthilia secunda* L.

Показатель	Содержание компонента, % от а.с.с.
Экстрактивные вещества	13,1
Арбутин	19,7
Фенольные соединения, в том числе:	52,9
– флавоноиды	6,1
– катехины	5,3
– дубильные вещества	3,2
– кверцетин	38,3
Пигменты, в том числе:	22,0
– хлорофилл а + хлорофилл б	19,4
– каротиноиды	2,6
Аскорбиновая кислота, мг %	0,1
Зольные вещества	2,1

Как видно из результатов, приведенных в таблице 3, в каллусной ткани содержание фенольных соединений выше и составляет 52,9 % по сравнению с таковым в надземной части растения 45,0 % соответственно, за счет увеличения количества кверцетина и катехинов. Каллусная ткань также отличается высоким содержанием пигментов и арбутина, аскорбиновой кислоты чем в интактном растении. Содержание экстрактивных, дубильных и зольных веществ в надземной части растения значительно выше, чем в каллусе. Полученные результаты показали, что в каллусной ткани содержится больше флавоноидов, пигментов и арбутина. В связи с этим перспективно культивирова-

ние на основе использования каллусной ткани *Orthilia secunda* L. в качестве альтернативного источника биологически активных веществ.

ВЫВОДЫ

Исследования показали, что культура *Orthilia secunda* успешно введена в культуру *in vitro*. Результаты по введению в культуру *in vitro* свидетельствуют о том, что культуру *Orthilia secunda* можно отнести к ауксинозависимой, так и цитокининзависимой.

Проведенные исследования по содержанию биологически активных веществ показали, что каллусная ткань *Orthilia secunda*, является перспективным объ-

ектом для биотехнологии и могут быть рекомендованы в качестве потенциального сырья для получения биологически активных веществ.

In vitro культивирование *Orthilia secunda* перешло из стадии лабораторного эксперимента в стадию разработки прикладных технологий. На сегодняшний день отработаны эффективные протоколы стерилизации, микроклонального размножения и индукции каллусных культур. Основные усилия сейчас сосредоточены на управлении метаболической активностью культур для получения стандартизованных экстрактов с гарантированно высоким содержанием арбутина и фитоэстрогенов. Интеграция методов элиситации, масштабирования в биореакторах и генетического анализа открывает путь к созданию устойчивой биотехнологической платформы для производства ценного сырья *O. secunda*, что позволит удовлетворить фармацевтический спрос и одновременно снять антропогенную нагрузку на природные популяции этого уникального лекарственного вида.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Шретер А. И., Панасюк В. А. Словарь лекарственных растений. Рига : Аvena, 1994. С. 237–238.
2. Куркин В. А. Фармакогнозия : учебник для студентов фармацевтических вузов. Самара : ООО «Офорт», 2004. 1180 с.
3. Tikhomirova L. I., Gorshkov A. G. Ontogenetic structure of coenopopulations of *Orthilia secunda* (Pyrolaceae) in forest communities of the Southern Urals // Russian Journal of Ecology. 2007. Vol. 38, № 1. P. 20–25.
4. Kedrina N. F. Biological features and resource assessment of some species of the family Pyrolaceae in Siberia // Растительные ресурсы. 1989. Т. 25, вып. 2. С. 238–247.
6. Гончарова Н. В., Колосова Н. В. Микроклональное размножение *Orthilia secunda* (L.) House // Биотехнология. Теория и практика. 2010. № 3. С. 65–71.
7. Зайцева Е. В., Носкова Н. Е. Культура изолированных тканей *Orthilia secunda* L. на питательных средах разного состава // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 123–128.
8. Kukushkina T. A., Zykova S. V. Accumulation of phenolic compounds in callus cultures of *Orthilia secunda* // Фитохимия лекарственных растений : материалы конференции. Новосибирск, 2015. С. 89–92.
9. Petrova M. O., Lapteva T. O. Stimulation of arbutin biosynthesis in suspension culture of *Orthilia secunda* by elicitors // Applied Biochemistry and Microbiology. 2018. Vol. 54, № 3. P. 302–308.
10. Смирнова И. А., Шилова И. В. Сравнительный анализ биологически активных соединений в интактных растениях и каллусных культурах *Orthilia secunda* L. // Сибирский экологический журнал. 2019. Т. 26, № 6. С. 758–767.
11. Zykova S. V., Kukushkina T. A., Gorbunova A. O. Morphogenetic potential of *Orthilia secunda* (L.) House explants in vitro // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. 2020. Вып. 26. С. 45–52.

12. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. М. : ФБК-ПИРЕСС, 1999. 160 с.

13. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15. P. 473–497.

14. Gamborg O. L., Miller R. A., Ojima K. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells // Experimental Cell Research. 1968. Vol. 50. P. 151–158.

15. George E. F., Hall M. A., De Klerk G.-J. (Eds.) Plant Propagation by Tissue Culture. 3rd Edition. Springer, 2008. Vol. 1. 501 p.

16. Пахомова В. М., Руденко Н. Н. Биотехнология лекарственных растений: клеточные технологии, метаболическая инженерия, нанобиотехнологии. Минск: Беларуская навука, 2017. 335 с.

17. Espinosa-Leal C. A., Puente-Garza C. A., García-Lara S. In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds // Planta. 2018. Vol. 248. P. 1–18.

18. Gurel S., Karvar M. et al. Biotechnological approaches for conservation of medicinal plants // EuroBiotech Journal. 2019. Vol. 3, Suppl. 2. P. 114–120.

19. Karakas F. P., Yildirim A. B., Turker A. U. Biological and phytochemical screening of in vitro propagated medicinal plants // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2019. Vol. 139. P. 153–175.

20. Gantait S., Mukherjee E. et al. Biotechnological interventions and genetic diversity assessment in *Swertia* sp.: a myriad source of valuable bioactive compounds // Applied Microbiology and Biotechnology. 2021. Vol. 105. P. 4427–4451.

REFERENCES

1. Shreter A. I., Panasyuk V. A. Slovar' lekarstvenny'x rastenij. Riga : Avena, 1994. S. 237–238.
2. Kurkin V. A. Farmakognosiya: Uchebnik dlya studentov farmacevticheskix vuzov. Samara : ООО «Офорт», 2004. 1180 s.
3. Tikhomirova L. I., Gorshkov A. G. Ontogenetic structure of coenopopulations of *Orthilia secunda* (Pyrolaceae) in forest communities of the Southern Urals // Russian Journal of Ecology. 2007. Vol. 38, № 1. P. 20–25.
4. Kedrina N. F. Biological features and resource assessment of some species of the family Pyrolaceae in Siberia // Rastitel'ny'e resursy'. 1989. T. 25, Vy'p. 2. S. 238–247.
6. Goncharova N. V., Kolosova N. V. Mikroklonal'noe razmnzhenie *Orthilia secunda* (L.) House // Biotexnologiya. Teoriya i praktika. 2010. № 3. S. 65–71.
7. Zajceva E. V., Noskova N. E. Kul'tura izolirovanny'x tkanej *Orthilia secunda* L. na pitatel'ny'x sredax raznogo sostava // Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya. 2012. № 4. S. 123–128.
8. Kukushkina T. A., Zykova S. V. Accumulation of phenolic compounds in callus cultures of *Orthilia secunda* // Fitoximiya lekarstvenny'x rastenij: materialy' konfe-rencii. Novosibirsk, 2015. S. 89–92.
9. Petrova M. O., Lapteva T. O. Stimulation of arbutin biosynthesis in suspension culture of *Orthilia secunda* by elicitors // Applied Biochemistry and Microbiology. 2018. Vol. 54, № 3. P. 302–308.

10. Smirnova I. A., Shilova I. V. Sravnitel'ny'j analiz biologicheskij aktivny'x soedinenij v intaktny'x rasteniyax i kallusny'x kul'turax *Orthilia secunda* L. // Sibirskij e'kologicheskij zhurnal. 2019. T. 26, № 6. S. 758–767.
11. Zyкова S. V., Kukushkina T. A., Gorbunova A. O. Morphogenetic potential of *Orthilia secunda* (L.) House explants in vitro // Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazaxstana. 2020. Vy'p. 26. S. 45–52.
12. Butenko R. G. Biologiya kletok vy'sshix rastenij in vitro i biotexnologii na ix osnove. M. : FBK-PRESS, 1999. 160 s.
13. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15. P. 473–497.
14. Gamborg O. L., Miller R. A., Ojima K. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells // Experimental Cell Research. 1968. Vol. 50. P. 151–158.
15. George E. F., Hall M. A., De Klerk G.-J. (Eds.) Plant Propagation by Tissue Culture. 3rd Edition. Springer, 2008. Vol. 1. 501 p.
16. Paxomova V. M., Rudenko N. N. Biotexnologiya lekarstvenny'x rastenij: kletochny'e tekhnologii, metabolicheskaya inzheneriya, nanobiotekhnologii. Minsk : Belaruskaya navuka, 2017. 335 s.
17. Espinosa-Leal C. A., Puente-Garza C. A., García-Lara S. In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds // Planta. 2018. Vol. 248. P. 1–18.
18. Gurel S., Karvar M. et al. Biotechnological approaches for conservation of medicinal plants // EuroBiotech Journal. 2019. Vol. 3, Suppl. 2. P. 114–120.
19. Karakas F. P., Yildirim A. B., Turker A. U. Biological and phytochemical screening of in vitro propagated medicinal plants // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2019. Vol. 139. P. 153–175.
20. Gantait S., Mukherjee E. et al. Biotechnological interventions and genetic diversity assessment in *Swertia* sp.: a myriad source of valuable bioactive compounds // Applied Microbiology and Biotechnology. 2021. Vol. 105. P. 4427–4451.

© Кох Ж. А., Коротков А. А., 2026

Поступила в редакцию 21.11.2025
Принята к печати 20.02.2026

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

Адамович И. Ю. Использование информационных технологий при определении проективного покрытия эпифитных лишайников в лишайноиндикации, с. 28–33

Бакшеева Е. О., см. Иванов В. А.

Башегуров К. А. Эффективность использования посадочного материала с открытой и закрытой корневыми системами при создании лесных культур в Курганской области, с. 34–40

Белов Л. А., см. Башегуров К. А.

Вайс А. А. Норматив по восстановлению диаметров на высоте груди сосновых древостоев с учётом формы нижней части стволов деревьев, с. 61–72

Василевский Г. А., см. Лагутин А. А.

Воронин В. И., см. Сизых А. П.

Выводцев Н. В. Закономерности изреживания одновозрастных лиственничников, с. 14–20

Гриценюк А. П., см. Сизых А. П.

Данилюк Д. Я., см. Вайс А. А.

Денисенко А. В., см. Рунова Е. М.

Залесов С. В., см. Башегуров К. А.

Зарипов Ш. Г. Ультрафильтрация – основополагающий процесс при конвективной сушке лиственничных пиломатериалов, с. 81–88

Иванов В. А. Классифицирование территории Красноярского края по опасности возникновения лесных пожаров от гроз, с. 50–60

Иванова Г. А., см. Иванов В. А.

Коротков А. А., см. Кох Ж. А.

Кох Ж. А. Современные биотехнологические подходы к переработке и сохранению лекарственных растений (на примере *Orthilia secunda* L.), с. 95–101

Кочегаров И. С., см. Башегуров К. А.

Лагутин А. А. Анализ влияния поллардинга на жизненное состояние древостоев *Tilia cordata* в условиях городской среды (на примере г. Москвы), с. 7–13

Лукина А. В., см. Третьякова И. Н.

Оплетаев А. С., см. Башегуров К. А.

Осколков В. А., см. Сизых А. П.

Плюха Н. И. К методике оценки квалитетических показателей ствола по их значениям на высоте груди на примере естественных сосняков и культур, с. 41–49

Пономарев Е. И., см. Иванов В. А.

Посыпанов С. В., см. Зарипов Ш. Г.

Рунова Е. М. Некоторые особенности развития сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой в питомнике и на лесокультурной площади, с. 21–27

Сиваков В. В., см. Адамович И. Ю.

Сизых А. П. Современные тенденции формирования лесов на контакте высотных поясов в Юго-Восточном Прибайкалье, с. 73–80

Слесарева Д. В., см. Вайс А. А.

Третьякова И. Н. Стратегия создания многоцелевых плантаций хвойных деревьев с использованием биотехнологии соматического эмбриогенеза (на примере *Pinus sibirica*), с. 89–94

Усольцев В. А., см. Плюха Н. И.

Хамитов Р. С., см. Лагутин А. А.

Хамитова С. М., см. Лагутин А. А.

Часовских В. П., см. Плюха Н. И.

Челак Д. В., см. Адамович И. Ю.

AUTHOR'S LINK

Adamovich I. Yu. Use of information technologies in determining the projective coverage of epiphytic lichens in lichenology, p. 28–33

Baksheeva E. O., see Ivanov V. A.

Bashegurov K. A. Efficiency of using open- and closed-root planting material by creating forest crops in the Kurgan region, p. 34–40

Belov L. A., see Bashegurov K. A.

Chasovskikh V. P., see Plyukha N. I.

Chelak D. V., see Adamovich I. Yu.

Danylyuk D. Ya., see Vais A. A.

Denisenko A. V., see Runova E. M.

Gritsenyuk A. P., see Sizykh A. P.

Ivanov V. A. Classification of the Krasnoyarsk territory by the risk of forest fires from thunderstorms, p. 50–60

Ivanova G. A., see Ivanov V. A.

Khamitov R. S., see Lagutin A. A.

Khamitova S. M., see Lagutin A. A.

Kochegarov I. S., see Bashegurov K. A.

Kokh Zh. A. Contemporary biotechnological strategies for the processing and preservation of medicinal plants: *Orthilia secunda* L. as a model object, p. 95–101

Korotkov A. A., see Kokh Zh. A.

Лагутин А. А. Analysis of the impact of pollarding on the vitality of *Tilia cordata* trees in an urban environment (on the example of Moscow), p. 7–13

Лукина А. В., see Tret'yakova I. N.

Оплетаев А. С., see Bashegurov K. A.

Oskolkov V. A., see Sizykh A. P.

Plyukha N. I. On the methodology for assessing the qualimetric parameters of the tree stems by their values at breast height using the example of natural and artificial *Pinus sylvestris*, p. 41–49

Ponomarev E. I., see Ivanov V. A.

Posypanov S. V., see Zaripov Sh. G.

Runova E. M. Some features of the development of scots pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.) with closed root system in the nursery and on the forest area, p. 21–27

Sivakov V. V., see Adamovich I. Yu.

Sizykh A. P. Modern trends in forests formation at the contact of height belts in south-eastern Pre-Baikal, p. 73–80

Slesareva D. V., see Vais A. A.

Tret'yakova I. N. Strategy for creating multipurpose coniferous plantations using somatic embryogenesis biotechnology (case study of *Pinus sibirica*), p. 89–94

Usoltsev V. A., see Plyukha N. I.

Vais A. A. Standard for restoring breast-height diameters of pine stands taking into account the shape of tree trunk, p. 61–72

Vasilevskiy G. A., see Lagutin A. A.

Voronin V. I., see Sizykh A. P.

Vyvodtsev N. V. Regularities of thinning of even-aged larch forests, p. 14–20

Zalesov S. V., see Bashegurov K. A.

Zaripov Sh. G. Ultrafiltration is a fundamental process in the convective drying of larch lumber, p. 81–88

