

ISSN 1993-0135

ХВОЙНЫЕ



БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

2025

Том XLIII
Номер 6

<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 XLIII
№ 6

Красноярск
2025

ХВОЙНЫЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Теоретический и научно-практический журнал

Том XLIII, № 6

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 XLIII, No. 6

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 16.12.2025. Дата выхода в свет 30.12.2025. Формат 70×108/8.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 15,5. Тираж 700 экз.
Заказ 3647. С 1220/25. 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

Генрих Э. А., Залывская О. С., Беляева Е. А., Борисов Д. С. Полиморфизм ели европейской и ели сибирской в условиях субарктики	7
Демиденко Г. А. Сравнительная характеристика и использование в ландшафтном дизайне кедровых сосен (сибирской и корейской)	15
Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Метелкин Н. А., Шайфлер И. А. Создание лесных культур сосны сеянцами с закрытой и открытой корневой системой в правобережье Нижегородского Поволжья	21
Исаев А. П., Габышева Л. П., Алексеев К. В., Слепцов А. А. Общая схема экзогенных сукцессий сосновых лесов Центральной Якутской низменности (Восточная Сибирь)	32
Егорова Н. Ю. Популяционно-демографическая характеристика <i>Vaccinium myrtillus</i> L. в различных типах бореальных лесов таежной зоны Кировской области	41
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	47
Евдокимова Л. С., Татаринцев А. И., Зленко Л. В. Оценка состояния древостоев <i>Pinus sylvestris</i> L. в рекреационных лесах правобережья лесопаркового зеленого пояса города Красноярска	58
Байрамов Г. З. Исследование влияния метеорологических факторов на верность предсказания и возникновения лесных пожаров	64
Брюханов И. И., Шишкин А. С. Проблематика возобновления кедровников в горах Южной Сибири, прогнозирование плодоношения	68
Меншиков С. Л., Мохначев П. Е., Неклюдов И. А. Самозарастание сосной обыкновенной рекультивированной территории золоотвала	74
Авдеева Е. В., Цыганкова Н. В., Никончук А. В. Особенности роста древесных растений на объектах озеленения города Красноярска	80
Елисеев С. Г., Казицин С. Н., Акинина Е. В. Товарная оценка сухостойной древесины пихты сибирской (<i>Abies Sibirica</i> ledeb.) в древостоях, погибших от воздействия сибирского шелкопряда (<i>Dendrolimus Sibiricus</i>) и уссурийского полиграфа (<i>Polygraphus Proximus</i>)	88
Танцырев Н. В., Андреев Г. В. Структура и динамика развития послепожарного низкогорного кедровника без смены формаций	96
Авторская ссылка	104

Contents

BIOLOGY AND ECOLOGY, FORESTRY

Genrikh E. A., Zalivskaya O. S., Belyaeva E. A., Borisov D. S. Polymorphism european spruce of and siberian spruce in subarctic conditions	7
Demidenko G. A. Comparative characteristics and use of cedar pine (siberian and korean) in landscape design	15
Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Metelkin N. A., Scheifler I. A. Creation of pine forest crops by seedlings with closed and open root systems in the right bank of the Nizhny Novgorod Volga region	21
Isaev A. P., Gabysheva L. P., Alekseev K. V., Sleptsov A. A. General scheme of exogenous successions of pine forests in Central Yakutian Lowland (Eastern Siberia)	32
Egorova N. Yu. Population and demographic characteristics of <i>Vaccinium Myrtillus</i> L. in various types of boreal forests of the taiga zone of Kirov oblast	41
Plyukha N. I., Usoltsev V. A., Chasovskikh V. P. Estimating the average-weighted qualimetric features of the stem by their values at breast height in natural and artificial <i>Pinus sylvestris</i>	47
Evdokimova L. S., Tatarintsev A. I., Zlenko L. V. Assessment of the state of stands of <i>Pinus Sylvestris</i> L. in the recreational forests of the right bank of the forest park green belt of Krasnoyarsk	58
Bayramov H. Z. Study of the influence of meteorological factors on the accuracy of prediction and the origin of forest fires	64
Bryukhanov I. I., Shishikin A. S. Problems of cedar forest regeneration in the mountains of Southern Siberia, fruiting forecasting	68
Menshchikov S. L., Mokhnachev P. E., Neklyudov I. A. Self-overgrowing with common pine on the recultivated ash dump area	74
Avdeeva E. V., Tsygankova N. V., Nikonchuk A. V. Growth characteristics of woody plants in landscaping sites in Krasnoyarsk	80
Eliseev S. G., Kazitsin S. N., Akinina E. V. Commodity evaluation of dead siberian fir wood (<i>Abies Sibirica</i> ledeb.) in stands that died from exposure to the siberian silkworm (<i>Dendrolimus Sibiricus</i>) and the four-eyed fir bark beetle (<i>Polygraphus Proximus blandford</i>)	88
Tantsyrev N. V., Andreev G. V. Structure and dynamics of development of post-fire low-mountain siberian stone pine forest without change of formations	96
Author's link	104

ПОЛИМОРФИЗМ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ И ЕЛИ СИБИРСКОЙ В УСЛОВИЯХ СУБАРКТИКИ

Э. А. Генрих, О. С. Залывская, Е. А. Беляева, Д. С. Борисов

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова
Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17

Аннотация. Одним из важных аспектов лесной селекции является изучение формового разнообразия древесных пород и выделение наиболее хозяйственно ценных форм. Цель настоящей работы – изучение формового разнообразия ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), ели гибридной (*Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst) и оценка таксационных параметров еловых насаждений в условиях Субарктики. Закладка пробных площадей осуществлялась с учетом ОСТ 56-69-83, тип ветвления определялся по классификации Н. А. Юрре [24]. Проанализированы морфологические признаки крон деревьев, таксационные параметры древостоя (высота, диаметр), биометрические показатели шишек (масса, длина, диаметр). Выявлено, что в Архангельской области преобладают плосковетвистый (51,6 %) и компактный (39,9 %) типы ветвления кроны ели, в Республике Коми доминирует компактный (89,2 %) тип ветвления кроны. Наибольшие высота и диаметр стволов отмечены у щетковидного типа ветвления. Установлены достоверные различия размеров шишек у ели европейской, сибирской и гибридной с разными типами ветвления. Выявлено, что наибольшая длина, ширина и масса шишек характерны для ели гибридной и сибирской с щетковидным типом ветвления. Полученные данные подтверждают связь морфологических признаков ели с её таксационными показателями, что имеет значение для селекции ели и повышения продуктивности лесов. При селекционных работах следует отдавать приоритет особям ели гибридной с щетковидным типом ветвления.

Ключевые слова: ель европейская, ель сибирская, ель гибридная, полиморфизм, тип ветвления, изменчивость, Субарктика.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 7–14

POLYMORPHISM EUROPEAN SPRUCE OF AND SIBERIAN SPRUCE IN SUBARCTIC CONDITIONS

E. A. Genrikh, O. S. Zalivskaya, E. A. Belyaeva, D. S. Borisov

Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov
17, Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

Abstract. One of the important aspects of forest breeding is the study of form diversity of tree species and selection of the most economically valuable forms. The aim of this work is to study the form diversity of European spruce (*Picea abies* (L.) Karst), Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.), hybrid spruce (*Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst) and to estimate the taxation parameters of spruce stands in the Subarctic. Sample plots were laid out in accordance with OST 56-69-83, the branching type was determined according to the classification of N. A. Jurre [24]. Morphological features of tree crowns, taxational parameters of the stand (height, diameter), biometric parameters of cones (weight, length, diameter) were analysed. It was revealed that in the Arkhangelsk region flat-branched (51,6 %) and compact (39,9 %) types of spruce crown branching prevail, in the Komi Republic compact (89,2 %) type of crown branching dominates. The greatest height and diameter of the trunks are noted in the brush-like type of crown branching. Reliable differences in cone size were found in European, Siberian and hybrid spruce with different branching types. It was revealed that the greatest length, width and weight of cones is typical for hybrid and Siberian spruce with a brush-like branching type. The obtained data confirm the relationship between morphological traits of spruce and its taxation indices, which is important for selection of spruce and increasing forest productivity. In breeding works, priority should be given to hybrid spruce with brush-like branching type.

Keywords: European spruce, Siberian spruce, Hybrid spruce, polymorphism, variability, branching type, variability, Subarctic.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых целей лесного хозяйства в нашей стране является увеличение продуктивности лесов и извлечение большего объема товарной древесины с каждого гектара лесного фонда. В дополнение к множеству лесохозяйственных мероприятий важным аспектом является осуществление селекционных работ, направленных на изучение формового разнообразия древесных пород и практическое применение полученных результатов.

Актуальность анализа внутривидовой изменчивости хвойных пород, их эколого-биологических характеристик и выделения ценных с хозяйственной точки зрения форм подчеркивается в работах В. Н. Сукачёва [18], П. Ф. Правдина [15], Ю. И. Тарханова и др. [19] и во многих других работах [1–4; 6–8; 10–18; 22].

Одним из главных морфологических признаков кроны ели является тип ветвления. В Архангельской области изучением форм ветвления ели занимались П. И. Войчалъ [3], В. Я. Попов [13], Д. С. Мосеев [8], С. Н. Тарханов и др. [19; 20], Н. А. Бабич и др. [1]. В то же время работ, посвященных изучению форм ели на территории Республики Коми, авторами не найдено.

Цель работы – исследование формового разнообразия ели и оценка таксационных параметров еловых насаждений в условиях Субарктики на территории Архангельской области и Республики Коми.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в Приморском районе Архангельской области (пробные площади № 1, 2) и в Усть-Цилемском районе Республики Коми (пробные площади № 3, 4). Согласно классификации В. П. Кеплена [5], данные регионы относятся к Субарктическому климату. Все четыре пробные площади закладывались в еловых насаждения черничного типа условий местопроизрастания со смешанным составом

древостоя. Средние таксономические параметры исследуемых древостоев приведены в табл. 1. Заложенные пробные площади № 1, 2 в Архангельской области расположены в зоне интрогрессивной гибридизации ели.

Подбор и закладка пробных площадей производилась с учетом требований, ОСТ 56-69-83 [9], и методических указаний [21]. Вид ели был установлен по Л. Ф. Правдину [15]. Тип ветвления ели определялся по ветвям, растущим в средней части крон в соответствии с классификацией Н. А. Юрре [24]. На каждой пробной площади проводился сплошной пересчет деревьев по породам и ступеням толщины, у каждого дерева на высоте 1,3 м измерялся диаметр, отмечался тип ветвления кроны. Для оценки таксационных параметров измерено не менее 10 высот ели для каждого типа ветвления кроны с помощью лазерного высоотомера «Nikon Forestry Pro», затем были подсчитаны среднестатистические показатели высоты и диаметров. Для биометрического анализа материала на пробных площадях собиралось не менее 30 шишек с каждого типа ветвления кроны ели.

Анализ экспериментальных данных, касающийся морфологической структуры лесных массивов, включает в себя оценку породного состава, размеров (высота, диаметр), возраста, горизонтальной (густота, полнота) и вертикальной (расположение деревьев в пологе) дифференциаций, а также продуктивности (бонитет, запас), проводился с использованием общепринятых методов, применяемых в таксации и лесоводстве [15; 18; 21]. Шишки ели взвешивали на электронных весах «AND HL-100» с точностью 0,01 г. Длину и ширину шишек измеряли электронным штангенциркулем «ТОУА» в закрытом состоянии сразу после сбора с точностью 0,01 мм. Статистическую обработку материала выполняли в программе Excel и IBM SPSS Statistics.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев в ельниках черничниках

Пробная площадь	Состав	Элемент леса	Средние			Бонитет	Полнота		Запас, м ³ /га	Количество, экз./га	
			А, лет	Д, см	Н, м		Q, м ² /га	Р		стволов	подраста
1	8Е1С1Б ед.Ос	Е	70	22,1	15,6	III	31,13	0,99	291,6	776	1445
		С		24,1	20,1		26,5	0,88	256	612	
		Б		12,1	11,2		3	0,08	29	56	
		Ос		6	5,4		1,6	0,03	11	100	
							0,03	0,002	0,1	8	
2	9Е1С ед.Б	Е	75	19,9	15	IV	32,8	0,7	158,1	661	966
		С		30,7	19,2		18,7	0,66	144	616	
		Б		14,7	16,3		9,4	0,02	9,4	12	
							4,7	0,02	4,7	33	
3	10Е+ед.С	Е	75	19,7	14,3	IV	27,6	0,97	221	719	1412
		С		22,3	15,4		27,1	0,95	216	696	
							0,5	0,02	5	23	
4	7ЕЗС	Е	75	25	17,1	III	34	0,98	289	589	925
		С		24,8	17,7		22,8	0,7	193	443	
							11,2	0,28	96	146	

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных полевых исследований нами установлено наличие четырех форм ели по типу ветвления (рис. 1).

1. Щетковидный тип ветвления – ветви первого порядка сильно разветвлены, имеют толстые мелкие ветви, на концах ветви растут вверх, вниз и в стороны, но при приближении к стволу ветви свешиваются вниз и образуют щетку.

2. Плосковетвистый тип ветвления – ветви первого порядка широко разветвлены, кроме того, ветви всех порядков находятся в одной горизонтальной плоскости или слегка свешиваются вниз.

3. Зубчатый тип ветвления – ветви второго и следующего порядка тонкие и свешиваются не так правильно, как у гребенчатого типа ветвления.

4. Компактный тип ветвления – характеризуется плотным, густым расположением ветвей, которые растут близко друг к другу, создавая плотную крону. Главные ветви достаточно плотно и коротко разветвлены с маленькими ветвями.

Исследования показали, что на территории Приморского района Архангельской области в большей степени встречаются два типа ветвления кроны ели обыкновенной – плосковетвистый (встречаемость

51,6 %) и компактный (39,9 %). Щетковидный (6,2 %) и зубчатый (2,3 %) тип ветвления кроны отмечается меньшим распространением. В границах Республики Коми на территории Усть-Цилемского района доминирующее положение по форме ели занимает компактный тип ветвления (89,2 %), на порядок меньше отмечаются ели с плосковетвистым (5,5 %), зубчатым (3,5 %) и щетковидным (1,8 %) типом ветвления (табл. 2).

В качестве параметров лесоводственной ценности использована средняя высота ствола и средний диаметр на высоте 1,3 м. Наилучшими таксономическими параметрами в районах исследования отличаются ели с щетковидным типом ветвления. Средняя высота стволов данного типа ветвления составила $15,8 \pm 0,9$ м в Приморском районе Архангельской области и $14,5 \pm 1,1$ м в Усть-Цилемском районе Республики Коми. Средний диаметр стволов в Приморском и Усть-Цилемском районе также максимален у щетковидного типа ветвления. Более низкой средней высотой и средним диаметром отличаются ели с плосковетвистым и зубчатым типом ветвления (табл. 3). Достоверность значений во всех вариантах доказана ($t > 4$). Полученные данные не противоречат результатам ранее проведенных исследований в Архангельской области [1].



Рис. 1. Формы ели по типу ветвления кроны:

a – компактный; *б* – плосковетвистый; *в* – щетковидный; *г* – зубчатый

Таблица 2

Встречаемость ели по типу ветвления кроны

Тип ветвления кроны	Район исследования	
	Приморский Архангельской области	Усть-Цилемский Республики Коми
Плосковетвистый	51,6 %	5,5 %
Щетковидный	6,2 %	1,8%
Зубчатый	2,3 %	3,5%
Компактный	39,9 %	89,2%

Заложенные пробные площади № 3, 4 в Усть-Цилемском районе Республики Коми находятся на 600 км восточнее от р. Северная Двина, где проходит условная граница ареалов ели сибирской и ели европейской. В еловых лесах, расположенных в бассейне р. Северная Двина протекает процесс интенсивной интрогрессивной гибридизации, в ходе которого формируются гибридные формы ели [22].

По нашим данным на территории Приморского района Архангельской области преобладает ель европейская (36,5 %), ель гибридная (33,8 %) и ель сибирская (29,7 %) занимают меньшее положение в видовом составе. В Усть-Цилемском районе Республики Коми доминирующее положение занимает ель сибирская (76,6 %), заметно ниже распространена ель гибридная (12,9 %) и ель европейская (10,5 %). Полученные сведения об увеличении распространения ели сибирской с запада на восток на территории Восточно-Европейской равнины, ели европейской в обрат-

ном направлении с востока на запад, а также о наличии зоны интрогрессивной гибридизации ели по мере приближения к р. Северная Двина, подтверждаются рядом других работ [1; 19; 20; 22–25].

В Приморском районе Архангельской области средняя высота ствола ели существенно различается между щетковидным и плосковетвистым, компактным и плосковетвистым типом ветвления. Средняя диаметр ствола в данном районе достоверно различается между щетковидным и плосковетвистым, зубчатым и плосковетвистым, компактным и плосковетвистым, щетковидным и компактным типами ветвления. В Усть-Цилемском районе Республики Коми средняя высота ствола ели достоверно различается между плосковетвистым и щетковидным, щетковидным и зубчатым типом ветвления. По среднему диаметру ствола существенно различаются щетковидный и компактный, щетковидный и зубчатый, компактный и плосковетвистый типы ветвления кроны (табл. 4).

Таблица 3

Таксационные параметры ели с разным типом ветвления кроны

Тип ветвления кроны	Район исследования	
	Приморский	Усть-Цилемский
Средняя высота ствола, м		
Плосковетвистый	13,7±0,6	13,4±0,7
Щетковидный	15,8±0,7	15,2±0,5
Зубчатый	15,3±0,8	13,2±0,6
Компактный	15,1±0,3	14,2±0,2
Плосковетвистый	18,7±0,5	18,7±0,6
Щетковидный	24,8±1,1	20,8±0,8
Зубчатый	22,0±1,2	18,3±1,1
Компактный	21,7±0,6	20,2±0,4

Таблица 4

Существенность различий (t) таксономических параметров при 5 % уровне значимости, $t_{05} = 2,0$

Приморский район Архангельской области				
Варианты	Плосковетвистый	Щетковидный	Зубчатая	Компактная
	Средняя высота ствола, м			
Плосковетвистый	–	2,28*	1,60	2,09
Щетковидный	2,28	–	0,47	0,92
Зубчатый	1,60	0,47	–	0,23
Компактный	2,09	0,92	0,23	–
Средний диаметр ствола, см				
Плосковетвистый	–	5,05	2,54	3,84
Щетковидный	5,05	–	1,72	2,47
Зубчатый	2,54	1,72	–	0,16
Компактный	3,84	2,47	0,22	–
Усть-Цилемский район Республики Коми				
Варианты	Средняя высота ствола, м			
	Плосковетвистый	Щетковидный	Зубчатая	Компактная
Плосковетвистый	–	2,09	0,22	1,10
Щетковидный	2,09	–	2,56	1,86
Зубчатый	0,22	2,56	–	1,58
Компактный	1,1	1,86	1,58	–
Средний диаметр ствола, см				
Плосковетвистый	–	2,10	0,37	2,08
Щетковидный	2,10	–	2,08	0,67
Зубчатый	0,37	2,08	–	1,93
Компактный	2,08	0,67	1,93	–

Примечание. *Жирным шрифтом выделены достоверные данные (здесь и далее в таблицах).

Для оценки изменчивости шишек использованы основные биометрические параметры. По мнению большинства исследователей, определяющими характеристиками, позволяющими отличить ель сибирскую от европейской, выступают размеры их шишек (в частности, длина и ширина) и параметры семенных чешуй [1; 4; 11–15].

Наибольшая длина шишек отмечается у ели гибридной с щетковидным типом ветвления ($87,4 \pm 1,1$ мм), диаметр также максимален у щетковидного типа ветвления ели сибирской ($25,0 \pm 1,0$ мм). Наименьшая длина шишек наблюдается у ели европейской ($65,3 \pm 1,4$ мм) и сибирской ($65,4 \pm 1,0$ мм) с компактным типом ветвления. Различие по данному показателю достоверно на 5 % уровне значимости ($t_{\phi} > t_{05}$) (табл. 6). В то же время между тремя видами ели не обнаружено достоверных различий по ширине шишек с компактным типом вет-

вления. Выявлено, что максимальным диаметром шишек отличается ель гибридная ($22,9 \pm 0,5$ мм) и ель сибирская ($25,0 \pm 1,0$ мм) с щетковидным типом ветвления кроны. Наименьшая ширина обнаружена у ели гибридной ($19,4 \pm 0,3$ мм) с компактным типом ветвления. Достоверность различий между данными типами ветвления доказана на 5 % уровне значимости ($t_{\phi} > t_{05}$). Наибольшая масса шишек отмечена у ели гибридной с щетковидным типом ветвления ($15,4 \pm 0,7$ г), а минимальная масса характерна для ели сибирской с плосковетвистым типом ветвления ($8,0 \pm 0,4$ г) и ели европейской с компактным типом ветвления ($8,0 \pm 0,5$ г). Различия по массе также достоверны на 5 % уровне значимости ($t_{\phi} > t_{05}$).

Заметные различия наблюдаются также в степени изменчивости биометрических показателей шишек (табл. 7).

Таблица 5

Морфометрические параметры шишек ели в зависимости от типа ветвления и происхождения в Усть-Цилемском районе Республики Коми

Тип ветвления кроны	Длина шишек, мм	Диаметр шишек, мм	Масса, г
Ель европейская			
Плосковетвистый	$69,4 \pm 1,7$	$20,7 \pm 0,4$	$8,1 \pm 0,5$
Компактный	$65,3 \pm 1,4$	$19,7 \pm 0,5$	$8,0 \pm 0,5$
Щетковидный	$80,6 \pm 1,5$	$21,8 \pm 0,6$	$14,7 \pm 0,8$
Ель сибирская			
Плосковетвистый	$65,8 \pm 1,5$	$19,4 \pm 0,3$	$8,0 \pm 0,4$
Компактный	$65,4 \pm 1,0$	$19,9 \pm 0,2$	$9,0 \pm 0,3$
Щетковидный	$86,6 \pm 2,1$	$25,0 \pm 1,0$	$14,7 \pm 1,3$
Ель гибридная			
Плосковетвистый	$69,7 \pm 1,5$	$20,3 \pm 0,5$	$8,8 \pm 0,5$
Компактный	$65,9 \pm 1,3$	$19,4 \pm 0,3$	$8,1 \pm 0,4$
Щетковидный	$87,4 \pm 1,1$	$22,9 \pm 0,5$	$15,4 \pm 0,7$

Таблица 6

Существенность различий между средними значениями морфометрических параметров шишек при 5 % уровне значимости, $t_{05} = 2,0$

Тип ветвления	Плосковетвистый	Компактный	Гребенчатый
Европейская ель			
Длина шишки			
Плосковетвистый	–	1,86	5,69
Компактный	1,86	–	8,29
Щетковидный	5,69	8,29	–
Диаметр шишки			
Плосковетвистый	–	1,56	1,53
Компактный	1,56	–	2,69
Щетковидный	1,53	2,69	–
Масса шишки			
Плосковетвистый	–	0,14	5,06
Компактный	0,14	–	5,12
Щетковидный	5,06	5,12	–
Ель сибирская			
Длина шишки			
Плосковетвистый	–	0,22	6,32
Компактный	0,22	–	7,38
Щетковидный	6,32	7,38	–
Диаметр шишки			
Плосковетвистый	–	1,39	5,36
Компактный	0,22	–	5,00

Окончание табл. 6

Тип ветвления	Плосковетвистый	Компактный	Гребенчатый
Щетковидный	6,32	5,0	–
Масса шишки			
Плосковетвистый	–	2,00	4,56
Компактный	2	–	3,90
Щетковидный	4,56	3,9	–
<i>Ель гибридная</i>			
Длина шишки			
Плосковетвистый	–	1,91	11,02
Компактный	1,91	–	14,27
Щетковидный	11,02	14,27	–
Диаметр шишки			
Плосковетвистый	–	1,54	6,02
Компактный	1,54	–	8,35
Щетковидный	6,02	8,35	–
Масса шишки			
Плосковетвистый	–	1,09	5,63
Компактный	1,09	–	7,07
Щетковидный	5,63	7,07	–

Таблица 7

Изменчивость биометрических параметров шишек

Тип ветвления кроны	Коэффициент вариации (С), %		
	Длина шишек, мм	Диаметр шишек, мм	Масса, г
<i>Ель европейская</i>			
Плосковетвистый	9,8	8,1	22,6
Компактный	10,6	12,0	25,9
Щетковидный	10,0	12,5	33,1
<i>Ель сибирская</i>			
Плосковетвистый	13,2	9,7	32,4
Компактный	17,1	11,8	37,2
Щетковидный	12,2	14,6	34,2
<i>Ель гибридная</i>			
Плосковетвистый	18,6	16,8	35,2
Компактный	9,3	7,5	26,8
Щетковидный	10,6	10,5	20,0

Длина шишек ели европейской, сибирской или гибридной в изученных типах ветвления кроны варьирует на низком 9,3–12,2 % (компактный, щетковидный тип кроны) и среднем уровне 17,1–18,6 % (плосковетвистый тип кроны) изменчивости по шкале Мамаева [7]. Диаметр шишек ели европейской и сибирской для всех типов ветвления, за исключением щетковидного (С = 14,6 %) находится на низком уровне изменчивости, у ели гибридной с плосковетвистым типом ветвления отмечена максимальная флуктуация данного параметра (С = 16,8 %). Масса шишек наиболее вариативна из всех морфометрических параметров. Для ели сибирской выражено высокое варьирование данного признака в зависимости от типа ветвления кроны (С = 32,4–37,2 %). Шишки ели европейской плосковетвистой и компактной формы характеризуются меньшей флуктуацией. Такая же картина наблюдается у шишек гибридной ели с компактной и щетковидной формой. Вариация данного признака у данных видов ели изменяется от повышенного (С = 20,0–26,8 %) до высокого (С = 33,1–37,2 %) уровня в зависимости от типа ветвления.

ВЫВОДЫ

1. Впервые дана оценка формового разнообразия ели по типу ветвления в Республике Коми на примере Усть-Цилемского района.

2. В результате проведенных исследований в Приморском районе Архангельской области и в Усть-Цилемском районе Республики Коми установлено наличие четырех типов ветвления ели: компактный, плосковетвистый, щетковидный, зубчатый.

3. Выявлено, что на территории Приморского района Архангельской области ель европейская (36,5 %), гибридная (33,8 %) и сибирская (29,7 %) распространены достаточно равномерно. На территории Усть-Цилемского района Республики Коми господствует ель сибирская (76,6 %), остальные виды ели встречаются значительно реже – ель гибридная (12,9 %) и ель европейская (10,5 %).

4. Установлены значимые различия в размерах шишек между видами ели и характером ветвления кроны. Ель гибридная с щетковидным ветвлением имеет самые крупные шишки длиной 87,4±1,1 мм, ель сибирская также с щетковидным строением кроны

отличается наиболее широкими шишками – $25,0 \pm 1,0$ мм, ель гибридная с тем же типом ветвления характеризуется самыми массивными шишками ($15,4 \pm 0,7$ г).

5. Наибольшие показатели высоты (до 15,8 м) и диаметра ствола (24,8 см) отмечаются у ели с щетковидным типом ветвления, что подтверждает ее хозяйственную ценность.

6. При отборе шишек в целях селекционной работы следует отдавать приоритет особям ели гибридной с щетковидным типом ветвления.

7. Полученные данные подтверждают связь морфологических признаков ели с её таксационными показателями, что важно для селекции и повышения продуктивности лесов. Результаты могут быть использованы в лесном хозяйстве для выделения хозяйственно-ценных форм ели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бабич Н. А., Комарова А. М., Соколова Е. Б. Ели и их лесосеменное значение // Известия Высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. № 4. С. 22–28.
2. Багаев С. С. Исследование географической изменчивости ели в Костромской области // Лесохозяйственная информация. 2014. № 4. С. 40–53.
3. Войчалъ П. И. О механических свойствах древесины внутривидовых форм ели // «Тр. АЛТИ». Архангельск, 1955. Т. 16. С. 169–173.
4. Казанцева М. Н., Арефьев С. П., Попов П. П. Индивидуальная и географическая изменчивость шишек и формы семенных чешуй ели сибирской в сибирской части ареала // Лесоведение. 2019. № 3. С. 198–207.
5. Кеппен В. П. Основы климатологии (Климаты зем. шара) / проф. В. Кеппен ; пер. со 2-го, доп. нем. изд. А. В. Вознесенского и М. П. Вознесенской / под ред. Е. И. Тихомирова. Утв. ВКВШ при СНК СССР в качестве пособия для педин-тов и ун-тов Геогр.-экон. н.-и. ин-т Ленингр. гос. ун-та. М. : Учпедгиз, 1938. 376 с.
6. Макаров Ю. И., Дружинин Ф. Н. Внутривидовой и возрастной полиморфизм ели европейской (*Picea Abies* (L) Karst) в условиях Вологодской области // Лесотехнический журнал. 2013. № 4. С. 24–32.
7. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М. : Наука, 1972. 282 с.
8. Мосеев Д. С. Формы ветвления ели в различных типах леса Архангельской области и связь с ними некоторых биометрических показателей // Экологические проблемы Севера. 2005. Вып. 8. С. 54–56.
9. ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 01.01.1984. М. : Изд-во стандартов, 1983. 10 с.
10. Попов В. Я. Формы ели по типу ветвления кроны в северной и средней подзонах тайги // Лесоводство, лесные культуры и почвоведения : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 9. ЛТА им. С. М. Кирова. Л., 1980. С. 47–51.
11. Попов П. П., Казанцева М. Н., Арефьев С. П. Фенотипическая структура популяций ели на Европейском Севере России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 2(380). С. 9–20.
12. Попов П. П., Арефьев С. П., Казанцева М. Н. Разнообразие и географическая дифференциация популяций ели сибирской (*Picea obovata*) в российской части ареала // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета : электрон. науч. журн. 2021. № 2(38). С. 61–70.
13. Попов П. П., Казанцева М. Н., Арефьев С. П. Индивидуальная и географическая изменчивость шишек *Picea obovata* в российской части ареала в связи с количеством семян в них // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 192–199.
14. Попов П. П. Распространение популяции промежуточной формы елей европейской и сибирской в российской части ареала // Лесохозяйственная информация. 2020. № 1. С. 69–75.
15. Правдин Л. Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М. : Наука, 1975. 189 с.
16. Смирнов А. В., Хамитов Р. С. Влияние географического фактора на степень интрогрессивной гибридизации популяций ели в центральной части Вологодской области // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 3. С. 238–242.
17. Влияние типа условий местопроизрастания и географического положения популяций на степень интрогрессивной гибридизации ели в Вологодской области / А. В. Смирнов, Р. С. Хамитов, С. А. Корчагов, С. Е. Грибов, Р. В. Щекалев // Лесохозяйственная информация. 2020. № 4. С. 94–104.
18. Сукачев В. Н. Современное состояние и задачи Советского лесоведения // Избранные труды. В 3 т. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л. : Наука, 1972. Т. 1. С. 242–247.
19. Тарханов С. Н., Коровин В. В., Щекалев Р. В. Формовое разнообразие хвойных на Европейском Севере России // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2006. № 5. С. 89–94.
20. Тарханов С. Н. Популяционная изменчивость ели финской по форме семенных чешуй на севере Архангельской области // Лесоведение. 2019. № 3. С. 208–214.
21. Лесная таксация. Ч. 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ : учебное пособие / С. В. Третьяков, С. В. Коптев, Е. Н. Наквасина, А. А. Бахтин, А. С. Ильинцев, А. П. Богданов, Ю. Е. Кекишева. Архангельск : САФУ, 2023. 119 с.
22. Чертовской В. Г. Еловые леса европейской части СССР. М. : Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.
23. Щербакова М. А. Генэкология ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.) в разных лесорастительных районах : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 1973. 26 с.
24. Юппе Н. А. Типы ветвления ели обыкновенной // Лесное хозяйство, 1939. № 7. С. 30–37.
25. Systematics and distribution of spruce species in the north-west of Russia / L. Orlova, G. Gussarova, E. Glazkova, A. Egorov, A. Potokin, S. Ivanov // Dendrobiology. 2020. Vol. 84. P. 12–29.

REFERENCES

1. Babich N. A., Komarova A. M., Sokolova E. B. Eli i ikh lesosemennoe znachenie // *Izvestiya Vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*. 2010. № 4. S. 22–28.
2. Bagaev S. S. Issledovanie geograficheskoi izmenchivosti eli v Kostromskoi oblasti // *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*. 2014. № 4. S. 40–53.
3. Voichal' P. I. O mekhanicheskikh svoistvakh drevesiny vnutrividovykh form eli // "Tr. ALTP". Arkhangel'sk, 1955. T. 16. S. 169–173.
4. Kazantseva M. N., Arefev S. P., Popov P. P. Individual'naya i geograficheskaya izmenchivost' shishek i formy semennykh cheshui eli sibirskoi v sibirskoi chasti areala // *Lesovedenie*. 2019. № 3. C. 198–207.
5. Keppen V. P. Osnovy klimatologii: (Klimaty zem. shara) / prof. V. Keppen; Per. so 2-go, dop. nem. izd. A. V. Voznesenskogo i M. P. Voznesenskoi / Pod red. E. I. Tikhomirova Utv. VKVSh pri SNK SSSR v kachestve posobiya dlya pedin-tov i un-tov Geogr.-ekon. n.-i. in-t Leningr. gos. un-ta. M. : Uchpedgiz, 1938. 376 s.
6. Makarov Yu. I., Druzhinin F. N. Vnutrividovoi i vozrastnoi polimorfizm eli evropeiskoi (*Picea Abies* (L) Karst) v usloviyakh Vologodskoi oblasti // *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2013. № 4. S. 24–32.
7. Mamaev S. A. Formy vnutrividovoi izmenchivosti drevesnykh rastenii (na primere semeistva Pinaceae na Urale). M. : Nauka, 1972. 282 s.
8. Moseev D. S. Formy vetvleniya eli v razlichnykh tipakh lesa Arkhangel'skoi oblasti i svyaz' s nimi nekotorykh biometricheskikh pokazatelei // *Ekologicheskie problemy Severa*. 2005. Vyp. 8. S. 54–56.
9. OST 56–69–83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki. Vved. 01.01.1984. M. : Izdatel'stvo standartov, 1983. 10 s.
10. Popov V. Ya. Formy eli po tipu vetvleniya krony v severnoi i srednei podzonakh taigi // *Lesovodstvo, lesnye kul'tury i pochvovedeniya : Mezhdvuz. sb. nauchn. trudov*. Vyp. 9. LTA im. S. M. Kirova. L., 1980. S. 47–51.
11. Popov P. P., Kazantseva M. N., Arefev S. P. Fenotipicheskaya struktura populyatsii eli na Evropeiskom Severe Rossii // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*. 2021. № 2(380). S. 9–20.
12. Popov P. P., Arefev S. P., Kazantseva M. N. Raznoobrazie i geograficheskaya differentsiatsiya populyatsii eli sibirskoi (*Picea obovata*) v rossiiskoi chasti areala // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Elektronnyi nauchnyi zhurnal*. 2021. № 2(38). S. 61–70.
13. Popov P. P., Kazantseva M. N., Arefev S. P. Individual'naya i geograficheskaya izmenchivost' shishek *Picea obovata* v rossiiskoi chasti areala v svyazi s kolichestvom semyan v nikh // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2024. № 3. S. 192–199.
14. Popov P. P. Rasprostranenie populyatsii promezhutochnoi formy elei evropeiskoi i sibirskoi v rossiiskoi chasti areala // *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*. 2020. № 1. S. 69–75.
15. Pravdin L. F. El' evropeiskaya i el' sibirskaya v SSSR. M. : Nauka, 1975. 189 s.
16. Smirnov A. V., Khamitov R. S. Vliyanie geograficheskogo faktora na stepen' introgressivnoi gibridizatsii populyatsii eli v tsentral'noi chasti Vologodskoi oblasti // *Khvoinye boreal'noi zony*. 2023. T. 41, № 3. S. 238–242.
17. Vliyanie tipa uslovii mestoproizrastaniya i geograficheskogo polozheniya populyatsii na stepen' introgressivnoi gibridizatsii eli v Vologodskoi oblasti / A. V. Smirnov, R. S. Khamitov, S. A. Korchagov, S. E. Gribov, R. V. Shchekalev // *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*. 2020. № 4. S. 94–104.
18. Sukachev V. N. Sovremennoe sostoyanie i zadachi Sovetskogo lesovedeniya // *Izbrannye trudy. V 3-kh tomakh: Osnovy lesnoi tipologii i biogeotsenologii*. L. : Nauka, 1972. T. 1. S. 242–247.
19. Tarkhanov S. N., Korovin V. V., Shchekalev R. V. Formovoe raznoobrazie khvoinykh na Evropeiskom Severe Rossii // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoi vestnik*. 2006. № 5. S. 89–94.
20. Tarkhanov S. N. Populyatsionnaya izmenchivost' eli finskoi po forme semennykh cheshui na severe Arkhangel'skoi oblasti // *Lesovedenie*. 2019. № 3. S. 208–214.
21. Lesnaya taksatsiya. Chast' 4. Zakladka, taksatsiya i opisanie probnykh ploshchadei pri provedenii nauchnykh issledovaniy i podgotovke vypusknnykh kvalifikatsionnykh rabot: uchebnoe posobie / S. V. Tret'yakov, S. V. Koptev, E. N. Nakvasina, A. A. Bakhtin, A. S. Il'in-tsev, A. P. Bogdanov, Yu. E. Kekisheva. Arkhangel'sk : SAFU, 2023. 119 s.
22. Chertovskoi V. G. Elovye lesa evropeiskoi chasti SSSR. M. : Lesn. prom-st', 1978. 176 s.
23. Shcherbakova M. A. Genekologiya eli obyknovennoi (*Picea abies* (L.) Karst.) v raznykh lesorastitel'nykh raionakh : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Krasnoyarsk, 1973. 26 s.
24. Yurre N. A. Tipy vetvleniya eli obyknovennoi // *Lesnoe khozyaistvo*, 1939. № 7. S. 30–37.
25. Systematics and distribution of spruce species in the north-west of Russia / L. Orlova, G. Gussarova, E. Glazkova, A. Egorov, A. Potokin, S. Ivanov // *Dendrobiology*. 2020. Vol. 84. P. 12–29.

© Генрих Э. А., Залывская О. С.,
Беляева Е. А., Борисов Д. С., 2025

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЛАНДШАФТНОМ ДИЗАЙНЕ КЕДРОВЫХ СОСЕН (СИБИРСКОЙ И КОРЕЙСКОЙ)

Г. А. Демиденко

Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, проспект Мира, 90
E-mail: demidenkoekos@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительной морфолого-метрической характеристики кедровых сосен (сибирской и корейской). Объекты исследований: сосна кедровая сибирская произрастает на территории Больше-Муртинского района Красноярского края; сосна кедровая корейская – на северо-востоке Китая в регионе китайской провинции Цзилини. В зависимости от условий произрастания сосен наблюдаются вариации морфометрических показателей кедровых орехов. Кедровые орехи со скорлупой у сосны кедровой сибирской имеют максимальные размеры по длине 12 мм, ширине – 8,7 мм; толщине – 6,4 мм; толщина скорлупы достигает максимальных размеров 0,7 мм. Семена сосны кедровой корейской могут достигать в длину 15,0 мм; в ширину – 9,4 мм; толщину – до 6,5 мм. Толщина их скорлупы составляет от 0,4 до 1,0 мм. Ядра кедровых орехов обогащены основными макро- и микронутриентами, а также минеральными веществами.

Сосны кедровая сибирская и кедровая корейская используются как декоративные культуры в дендропарках и природных парках, а также находят применение при создании ландшафтных фитокомпозиций.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, сосна кедровая корейская, морфометрические показатели, шишки, орехи, ландшафтный дизайн.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 15–20

COMPARATIVE CHARACTERISTICS AND USE OF CEDAR PINE (SIBERIAN AND KOREAN) IN LANDSCAPE DESIGN

G. A. Demidenko

Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira Av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation,
E-mail: demidenkoekos@mail.ru

Abstract. The article presents the results of comparative morphological and metric characteristics of cedar pines (Siberian and Korean), and their significance for humans. Areas of study are: *Pinus sibirica* grows in the Bolshe-Murtinsky district of the Krasnoyarsk Territory; *Pinus koraiensis* is located in the northeast of China in the region of the Chinese province of Jilin. The morphometric parameters of seeds vary depending on the pine trees growing conditions. The seeds with the shell have maximum dimensions of 12 mm in length, 8.7 mm in width, and 6.4 mm in thickness; the shell thickness reaches a maximum of 0.7 mm. Korean pine seeds can reach 15.0 mm in length, 9.4 mm in width, and up to 6.5 mm in thickness. Their shell thickness ranges from 0.4 to 1.0 mm. The kernels of seeds are enriched with the main macro- and micronutrients, as well as minerals.

Siberian and Korean pines are used as ornamental plants in dendroparks and nature reserves, as well as in the creation of landscape phytocompositions.

Keywords: Siberian cedar pine, Korean cedar pine, morphometric indicators, cones, seeds, landscape design.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Сибири и Дальнего Востока произрастают три вида кедровых сосен: сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour); сосна кедровая корейская (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) и кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Reg.). Ареалы произрастания основных видов кедровых сосен представлены в табл. 1.

Кедровые сосны являются полиморфными видами, способные произрастать в разнообразных местообитаниях, в том числе в рекреационных лесах пригородной зоны города Красноярска [1–2; 7; 10; 13]. В Рос-

сии сосной кедровой сибирской занято около 40 млн га площади [11]. Сосна кедровая корейская занимает на территории в России около 5 млн га [10; 15]. Эти виды выращивают также в искусственных насаждениях урбанизированной среды городов и поселков [4; 8; 14–15; 19].

Кедровые орехи – ценный пищевой продукт для населения планеты. Переработка остатков ядер кедровых орехов с получением и применением разных функциональных веществ – перспективное направление в России и Китае [16–18].

Таблица 1
Ареалы произрастания кедровых сосен

№	Наименование вида	Ареал произрастания
Россия		
1	Сосна кедровая сибирская (<i>Pinus sibirica</i>)	Тюменский, Томский, Свердловский, Красноярский, Иркутский, Республика Тыва, Алтайский, Бурятский, Читинский, Республика Коми, Северо-Уральский
2	Сосна кедровая корейская (<i>Pinus koraiensis</i>)	Дальний Восток: Приморский, Хабаровский, Амурский
3	Кедровый стланик (<i>Pinus pumila</i>)	Восточная Сибирь: Восточно-Сибирский (Ленский); Дальний восток: Камчатский, Сахалинский, Курильские острова
Китай, Корея, Япония, Монголия		
4	Сосна кедровая корейская (<i>Pinus koraiensis</i>)	Корейский, Китайский, Японский
5	Кедровый стланик (<i>Pinus pumila</i>)	Северо-Монгольский, Северо-Восточный Китайский, Корейский, Японский
6	Сосна китайская (<i>Pinus tabulaeformis</i>)	Китайский
7	Сосна Мейсона (<i>Pinus massoniana</i>)	Китайский
8	Сосна кедровая Арманда (<i>Pinus armandii</i>)	Китайский, Корейский

Кедровым орехом на материке Евразия обобщенно называют семена нескольких видов древесных из рода Сосна (*Pinus*) семейства сосновые (Pinaceae), которые являются съедобными. В Сибири кедровый орех, в основном, представлен семенами сосны кедровой сибирской, на Дальнем Востоке и странах Восточной Азии – сосны кедровой корейской [20].

Целью исследования является изучение и сравнительный морфолого-метрический анализ сосны кедровой сибирской (кедр сибирский) и сосны кедровой корейской (кедр корейский), а также рассмотрение вопросов их использования в ландшафтном дизайне.

Сосна кедровая сибирская или кедр сибирский – хвойное вечнозеленое дерево с густой, часто многовершинной кроной. Ствол ровный (прямой) бурый, с трещиноватой чешуйчатой корой у старых деревьев. В Сибири это дерево характерно для темнохвойной тайги (кедрачи). Предпочитает суглинистые и супесчаные почвы. Требовательно к влажности воздуха и почвы; не произрастает на «холодных» почвах с близким залеганием многолетней мерзлоты. Относится к медленно растущим породам. Морозостойкое, теневыносливое дерево. Продолжительность жизни более 500 лет.

Урожайность кедра сибирского связана с условиями произрастания. Один год из пяти бывает неурожайным в центре ареала. На севере границы ареала средние и хорошие урожаи обычно бывают 4–3 раза за 10 лет. Средняя урожайность сибирских кедровников находится в пределах 100–170 кг/га.

Сосна кедровая корейская (кедр корейский) – хвойное вечнозеленое дерево. Крона развитая густая; у молодых деревьев – конусовидная (или округлояйцевидная; в старости – продолговато-цилиндрическая.

В условиях пригородной зоны Красноярска (дендрарий СибГУ им. М. Ф. Решетнева) искусственные насаждения интродуцированного вида (сосны кедровой корейской) характеризуются более замедленным ростом, чем сосна кедровая сибирская [13–14].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сосна кедровая сибирская произрастает в естественных условиях на территории Больше-Муртинского района Красноярского края; сосна кедровая корейская – на северо-востоке Китая в регионе китайской провинции Цзилинь.

Ботанические исследования проводились в Инновационной лаборатории «Экологический мониторинг лесных и сельскохозяйственных культур» при кафедре Ландшафтной архитектуры и ботаники ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», а также на базе Центра Цилиньского аграрного научно-технического института (Китай, Цилинь) [12–14].

Изучение фенотипической структуры природных популяций проводилось на временных пробных площадках в насаждениях III класса возраста, средний возраст которых составлял 95–105 лет. Каждое дерево на пробной площади пронумеровано и описано по морфологическим признакам генеративных органов и лесоводственным характеристикам, габитус деревьев – по указаниям и общепринятой в лесной таксации методике [4–5; 9].

Применена интегральная оценка состояния деревьев по комплексу визуальных признаков (густота и цвет кроны; наличие и доля усыхания ветвей в кроне; состояние коры и другие признаки). Использована модифицированная шкала В. А. Алексеева, в соответствии с которой, древостои подразделены на категории в зависимости от индекса состояния: здоровые (100–90 %); здоровые с признаками ослабления (89–80 %); ослабленные (79–70 %); поврежденные (69–50 %); сильноповрежденные (49–20 %); разрушенные (менее 20 %).

Морфолого-метрическая характеристика семян кедровых сосен выполнена на лабораторном материале: по 100 штук кедровых орехов из Красноярского края (Больше-Муртинский район) и Китая (провинция Цзилинь). Выполнены измерения семян со скорлупой (длина, ширина, толщина), толщина скорлупы, ядер кедровых орехов.

Математическая обработка данных проводилась методами вариационной статистики [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В зависимости от условий произрастания наблюдаются вариации морфометрических показателей видов кедровых сосен, их шишек и семян.

Сравнительная морфологическая характеристика сосны кедровой сибирской и кедровой корейской приведены в табл. 2.

Анализ корневой системы показал, что у сосны кедровой сибирской на дренированных и легких по гранулометрическому составу почвах при коротком стержневом корне развиваются мощные «якорные» корни, проникающие до 2–3 м в глубину. Такие корни (с прикорневыми лапами) придают стволу и кроне устойчивость.

Корень сосны кедровой корейской также имеет многочисленные боковые отростки, помогающие стволу удерживать крону под «натиском» сильных ветров и избегать падений.

В Сибири для сосны кедровой сибирской выделяются годы с высокой и средней урожайностью и зависят, в основном, от условий произрастания. В Китае для сосны кедровой корейской также характерно чередование урожайных и неурожайных лет.

Кедровые сосны являются однодомными. Мужские и женские генеративные органы располагаются на одном дереве в разных частях кроны. Морфологи-

ческие различия генеративных органов приведены в табл. 3.

Внешний вид кедрового ореха имеет различия в зависимости, в основном, от климата, условий произрастания, высоты над уровнем моря. Сравнительные размеры кедровых орехов из Красноярского края (Больше-Муртинский район) и Китая (провинция Цзилинь) представлены в табл. 4 и 5.

Анализ табл. 4 показал, что в зависимости от условий произрастания кедровых сосен наблюдаются вариации морфометрических показателей орехов. Семена сосны кедровой сибирской имеют длину от 9,5 до 12,0 мм; ширину – от 6,0 до 8,7 мм; толщину – от 4,0 до 6,4 мм; толщину скорлупы – от 0,3 до 0,7 мм. Орехи сосны кедровой корейской характеризуются длиной от 5,5 до 15,0 мм; шириной – от 6,6 до 9,4 мм; толщиной – от 4,1 до 6,5 мм. Толщина скорлупы – от 0,4 до 1,0 мм.

Ядра семян сосны кедровой сибирской имеют показатели: длину от 5,5 до 9,0 мм; ширину от 4,1 до 6,1 мм; толщину от 3,2 до 5,6 мм. Ядра семян сосны кедровой корейской имеют длину от 10,0 до 12,4 мм; ширину от 5,1 до 7,6 мм; толщину от 3,3 до 5,5 мм.

Ядра кедровых орехов обогащены основными макро- и микронутриентами, а также минеральными веществами (табл. 6).

Таблица 2
Сравнительная морфологическая характеристика кедровых сосен

Высота, м	Диаметр кроны, м	Цвет коры	Корень	Хвоя
Сосна кедровая сибирская				
25(35)–45	2,0–2,5	темно-серая в молодом возрасте; затем становится серовато-бурой	короткий стержневой корень, от которого отходят корни боковые	растет пучками (по 5 хвоинок в пучке), мягкая, темно-зеленая с сизым налетом, в разрезе – трехгранная
Сосна кедровая корейская				
40–50	1,5–2,0	светло-коричневая с красноватым оттенком	слаборазвитый стержень с многочисленными боковыми отростками	по 5 хвоинок в пучке, сизовато-зеленая; трехгранная

Таблица 3
Морфологические характеристики генеративных органов кедровых сосен

Форма шишек	Окраска		Размеры шишек, см	
	микростробилов	шишек	Длина	Ширина
Сосна кедровая сибирская				
Яйцевидная	вишнево-красный	светло-бурые	6–13	5–8
Сосна кедровая корейская				
Удлиненно-яйцевидная	желтый	красновато-фиолетовый	14–18	8–10

Таблица 4
Сравнительные размеры кедровых орехов кедровых сосен

Кедровые орехи со скорлупой						Скорлупа	
Длина, мм	Число, шт.	Ширина, мм	Число, шт.	Толщина, мм	Число, шт.	Толщина, мм	Число, шт.
Россия (Красноярский край)							
9,5	2	6,0	3	4,0	1	0,3	27
10,0	23	6,4	6	4,6	5	0,4	35
10,5	12	7,3	31	4,9	10	0,4	17
11,0	36	7,6	20	5,6	22	0,6	5

Окончание таблицы 4

Кедровые орехи со скорлупой						Скорлупа	
Длина, мм	Число, шт.	Ширина, мм	Число, шт.	Толщина, мм	Число, шт.	Толщина, мм	Число, шт.
11.5	10	8,2	31	6,2	43	0,6	6
12.0	17	8.7	9	6.4	19	0.7	10
Китай (регион Китайской провинции Цзилинь)							
12.5	4	6.6	4	4.1	4	0.4	4
13.0	4	7.5	3	4.5	4	0.6	7
13.5	6	7.6	7	5.6	8	0.7	12
14.0	24	8.1	12	5.7	15	0.8	34
14.5	14	9.2	46	6.2	41	0.9	25
15.0	34	9.5	28	6.5	32	1.0	18

Таблица 5

Сравнительные размеры ядер кедровых орехов

Ядра кедровых орехов					
Длина, мм	Число, шт.	Ширина, мм	Число, шт.	Толщина, мм	Число, шт.
Россия (Красноярский край)					
5,5	3,0	4,1	4,0	3,2	8,0
7,0	4,0	3,5	4,0	3,6	6,0
7,5	4,0	5,3	15,0	4,1	14,0
8,0	27,0	5,6	21,0	4,4	20,0
8,5	21,0	7,1	23,0	5,1	21,0
9,0	41,0	6,6	33,0	5,6	31,0
Китай (регион Китайской провинции Цзилинь)					
10,0	6,0	5,1	5,0	3,3	2,0
10,5	6,0	5,5	11,0	3,7	4,0
11,0	23,0	6,1	25,0	4,2	4,0
11,5	12,0	6,6	26,0	4,5	20,0
12,0	32,0	7,1	20,0	5,3	21,0
12,4	21,0	7,6	5,0	5,5	8,0

Таблица 6

Содержание макро- и микронутриентов; минеральных веществ в ядрах кедровых орехов

Показатели	Кедровая сосна	
	сибирская	корейская
	Макро- и микронутриенты (массовая доля, % на общий вес ядра)	
Жир	60,48±0,5	62,98±0,5
Белок	16,00±0,2	15,60±0,2
Сахароза	5,20±0,3	5,28±0,3
Редуцирующий сахар	0,70±0,5	0,68±0,5
Зола	2,36±0,1	2,25±0,1
Минеральные вещества (массовая доля, мг/100 г)		
Цинк	11,80	11,70
Кальций	10,70	6,40
Медь	1,30	1,30
Калий	648,00	500,00
Натрий	11,20	11,25
Железо	11,14	10,45

Анализ табл. 6 показал, что ядра кедровых орехов обогащены биологически активными веществами. Среди макроэлементов в ядрах кедровых орехов отмечено высокое содержание жира (более 60 %). Содержание белка составляет 15,6–16,0 %. Содержание золы – 2,25–2,36 %. Содержание минеральных веществ показывает высокие значения калия, натрия, железа, цинка, кальция.

Кедровые сосны используются в дендропарках и природных парках, а также при создании ландшафтных фитокомпозиций. Сосна кедровая сибирская [3;

19] в Красноярске находится в хорошем состоянии и характеризуется удовлетворительным ростом при выращивании в скверах и парках, в отдалении от крупных магистралей.

Основные варианты использования кедровых сосен в озеленении:

– Акцентное дерево – одинокий величавый «кедр» в центре ландшафтного дизайна территории. Красота мощной кроны подчеркивается в любое время суток, которую возможно осветить декоративной подсветкой.

– Альпийская горка. Применение карликовых форм становится фоном для каменистой горки в композиции с декоративными кустарниками, почвопокровниками, многолетними и однолетними цветочными растениями.

– Аллейные посадки.

– Отдельные виды кедровых сосен в фитокомпозициях в сочетании с другими хвойными растениями (туи, можжевельники), рододендронами, азалиями и другими теневыносливыми многолетниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнительной морфолого-метрической характеристики кедровых сосен (сибирской и корейской) установлено наличие межвидовой изменчивости признаков по окраске коры, генеративных органов, размеру шишек и семян. Семена сосны кедровой корейской, произрастающей на территории Китая, имели превышение по длине и ширине, а также более толстую скорлупу в сравнении с семенами сосны кедровой сибирской из Больше-Муртинского района Красноярского края. Семена сосны кедровой корейской отличались большим содержанием жира (62,98 против 60,48 %), но несколько меньшим содержанием белка (15,6 в сравнении с 16,0 %).

Кедровые сосны используются при создании ландшафтных композиций при озеленении урбанизированной среды, преимущественно в виде солитеров, аллейных посадок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Авдеева Е. В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде. Красноярск : СибТГУ, 2007. 361 с.
2. Авдеева Е. В. Зеленые насаждения городов Сибири. Красноярск : СибТГУ, 2000. 150 с.
3. Братилова Н. П., Доржу А., Коновалова Д. А. Использование сосны кедровой сибирской в озеленении Красноярска // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сборник статей Всерос. науч.-практ. конф. ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2021. С. 127–129.
4. Эндогенная изменчивость показателей роста и надземной фитомассы сосны кедровой корейской в искусственных насаждениях пригородной зоны Красноярска / Н. П. Братилова, В. Н. Калагин, А. В. Мантулина, Р. В. Калашников, Н. В. Моксина, Н. О. Мотырев. // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 6. С. 459–465.
5. Вайс А. А., Братилова Н. П., Барлекова П. Д. Горизонтальная форма крон и деревьев в кедровых плантациях пригородной зоны города Красноярска // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 5. С. 353–360.
6. Вересин М. М. Лесное семеноводство. М. : Гослесбумиздат, 1963. 158 с.
7. Демиденко Г. А., Ковылина О. П. Изменчивость сосны обыкновенной в южной части бореальной зоны Приенисейской Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. XLIII, № 1. С. 73–77.
8. Илюшина К. А., Кожевникова А. А., Щерба Ю. Е. Изменчивость показателей 12-летней сосны кедровой

корейской в пригородной зоне Красноярска // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : матер. XIV Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2023. С. 62–66.

9. Методика изучения внутривидовой изменчивости древесных пород / А. И. Ирошников, С. А. Мамаев, Л. Ф. Правдин, М. А. Щербакова. М., 1973. 31 с.

10. Коропачинский И. Ю. Древесные растения Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983. 384 с.

11. Кутузов П. К. Богатство кедровой тайги. Красноярск : Краснояр. кн. изд-во, 1955. 79 с.

12. Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие. М. : Высшая школа, 1973. 343 с.

13. Лапшова М. С., Шултрекова А. О., Братилова Н. П. Интродукция пятихвойных сосен в дендрарии СибГУ им. М. Ф. Решетнева // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сборник материалов по итогам Всерос. науч.-практ. конф. ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2021. С. 65–67.

14. Лапшова М. С., Братилова Н. П., Шултрекова А. О. Рост сосны кедровой корейской в дендрарии СибГУ пригородной зоны Красноярска (2020 год) // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2021. Т. 24. С. 54–56.

15. Сравнительный анализ показателей посадочного материала интродуцированных растений в условиях зеленой зоны г. Красноярска / Р. Н. Матвеева, Ю. Е. Щерба, Е. А. Савинич, С. В. Попова, А. С. Коростелев // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41, № 6. С. 474–478.

16. Типсина Лю Янься Разработка нового ассортимента мучных кондитерских изделий с использованием полуфабрикатов из *Pinus Sibirica*. Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2020. 156 с.

17. Лю Я. Разработка рецептов и технологии булочки с порошком из кедрового жмыха/ Инновационные тенденции развития российской науки : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2016. С. 29–31. EDN WGONDL.

18. Лю Я. Разработка нового ассортимента мучных кондитерских и хлебобулочных изделий с использованием жмыха *Pinus Sibirica* : автор. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2016. 22 с. EDN ZQAYXB.

19. Пасечникова А. И., Щерба Ю. Е. Использование сосны кедровой сибирской в озеленении западной части острова Татышев города Красноярска // Актуальные научные направления ландшафтной архитектуры – от истока к инновациям : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посв. 95-летию ВГЛУ им. Г. Ф. Морозова. Воронеж : Воронеж. гос. лесотехнич. ун-т им. Г. Ф. Морозова, 2025. С. 183–187.

20. Chen Bao. Development and utilization of pine nuts *Koraiensis*. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010. № 20. P. 160–162.

REFERENCES

1. Avdeeva E. V. Rost i indikatorsnaya rol' drevesny'x rastenij v urbanizirovannoj srede. Krasnoyarsk : SibTGU, 2007. 361 s.
2. Avdeeva E. V. Zeleny'e nasazhdeniya gorodov Sibiri. Krasnoyarsk : SibTGU, 2000. 150 s.
3. Bratilova N. P., Dorzhu A., Konovalova D. A. Ispol'zovanie sosny' kedrovoj sibirskoj v ozelenenii Krasnoyarska // Teknologii i oborudovanie sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva : sbornik statej Vseros. nauch.-prakt. konf. ; SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2021. S. 127–129.
4. E'ndogennaya izmenchivost' pokazatelej rosta i nadzemnoj fitomassy' sosny' kedrovoj korejskoj v iskusstvenny'x nasazhdeniyax prigorodnoj zony' Krasnoyarska / N. P. Bratilova, V. N. Kalagin, A. V. Mantulina, R. V. Kalashnikov, N. V. Moksina, N. O. Moty'rev // Xvojny'e boreal'noj zony'. 2023. T. XLI, № 6. S. 459–465.
5. Vajs A. A., Bratilova N. P., Barlekova P. D. Gorizontal'naya forma kron i derev'ev v kedrov'x plantacijax prigorodnoj zony' goroda Krasnoyarska // Xvojny'e boreal'noj zony'. 2022. T. XL, № 5. S. 353–360.
6. Veresin M. M. Lesnoe semenovodstvo. M. : Goslesbumizdat, 1963. 158 s.
7. Demidenko G. A., Kovy'lina O. P. Izmenchivost' sosny' oby'knovennoj v yuzhnoj chasti boreal'noj zony' Prieniskoj Sibiri // Xvojny'e boreal'noj zony'. 2025. T. XLIII, № 1. S. 73–77.
8. Ilyushina K. A., Kozhevnikova A. A., Shherba Yu. E. Izmenchivost' pokazatelej 12-letnej sosny' kedrovoj korejskoj v prigorodnoj zone Krasnoyarska // E'ffektivny'j otvet na sovremennye vy'zovy' s uchedom vzaimodejstviya cheloveka i prirody', cheloveka i tehnologij: social'noe'konomicheskie i e'kologicheskie problemy' lesnogo kompleksa : materialy XIV Mezhdunar. nauch.-texn. konf. Ekaterinburg : FGBOU VPO Ural'skij gosudarstvenny'j lesotexnicheskij universitet, 2023. S. 62–66.
9. Iroshnikov A. I., Mamaev S. A., Pravdin L. F., Shherbakova M. A. Metodika izucheniya vnutrividovoj izmenchivosti drevesny'x porod. M., 1973. 31 s.
10. Koropachinskij I. Yu. Drevesny'e rasteniya Sibiri. Novosibirsk : Nauka. Sib. otd-nie, 1983. 384 s.
11. Kutuzov P. K. Bogatstvo kedrovoj tajgi. Krasnoyarsk : Krasnoyarskoe knizhnoe izd-vo, 1955. 79 s.
12. Lakin G. F. Biometriya : uchebnoe posobie. M. : Vy'sshaya shkola, 1973. 343 s.
13. Lapshova M. S., Shultrekova A. O., Bratilova N. P. Introdukciya pyatixvojny'x sosen v dendrarii SIBGU im. M. F. Reshetneva // Lesnoj i ximicheskij kompleksoy' – problemy' i resheniya : sbornik materialov po itogam Vseros. nauch.-prakt. konf. ; SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2021. S. 65–67.
14. Lapshova M. S., Bratilova N. P., Shultrekova A. O. Rost sosny' kedrovoj korejskoj v dendrarii SIBGU prigorodnoj zony' Krasnoyarska (2020 god) // Plodovodstvo, semenovodstvo, introdukciya drevesny'x rastenij ; SibGU im. M. F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2021. T. 24. S. 54–56.
15. Sravnitel'ny'j analiz pokazatelej posadochnogo materiala introducirovanny'x rastenij v usloviyax zelenoj zony' G. Krasnoyarska / R. N. Matveeva, Yu. E. Shherba, E. A. Savinich, S. V. Popova, A. S. Korostelev // Xvojny'e boreal'noj zony'. 2023. T. 41, № 6. S. 474–478.
16. Tipsina Lyu Yan'sya Razrabotka novogo assortimenta muchny'x konditerskix izdelij s ispol'zovaniem polufabrikatov iz Pinus Sibirica. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk. gos. agrar. un-t, 2020. 156 s.
17. Lyu Ya. Razrabotka receptur i tehnologij bulochki s poroshkom iz kedrovogo zhmy'xa/ Innovacionny'e tendencii razvitiya rossijskoj nauki: materialy' IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molody'x ucheny'x. Krasnoyarsk : Krasnoyarskij gosudarstvenny'j agrarny'j universitet, 2016. S. 29–31. EDN WGONDL.
18. Lyu Ya. Razrabotka novogo assortimenta muchny'x konditerskix i xlebobulochny'x izdelij s ispol'zovaniem zhmy'xa Pinus Sibirica : avtor. dis. ... kand. texn. nauk. Krasnoyarsk, 2016. 22 s. EDN ZQAYXB.
19. Pasechnikova A. I., Shherba Yu. E. Ispol'zovanie sosny' kedrovoj sibirskoj v ozelenenii zapadnoj chasti ostrova Taty'shev goroda Krasnoyarska // Aktual'nye nauchny'e napravleniya landshaftnoj arxitektury' – ot istoka k innovaciyam : mater. Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, posv. 95-letiyu VGLTU im. G. F. Morozova. Voronezh : Voronezhskij gosudarstvenny'j lesotexnicheskij universitet im. G. F. Morozova, 2025. S. 183–187.
20. Chen Bao. Development and utilization of pine nuts Koraiensis. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010. № 20. S. 160–162.

© Демиденко Г. А., 2025

Поступила в редакцию 15.10.2025
Принята к печати 02.12.2025

**СОЗДАНИЕ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ СЕЯНЦАМИ С ЗАКРЫТОЙ И ОТКРЫТОЙ
КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В ПРАВОБЕРЕЖЬЕ НИЖЕГОРОДСКОГО ПОВОЛЖЬЯ****Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, Н. А. Метелкин, И. А. Шайфлер**

Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л. Я. Флорентьева
Российская Федерация, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97
E-mail: lesfak@bk.ru

Аннотация. Актуальность темы научной работы обоснована все возрастающей потребностью в модернизации и дальнейшем совершенствовании методов и технологий искусственного восстановления насаждений главных лесообразующих пород Российской Федерации. Цель исследований – дать сравнительную оценку эффективности технологий создания в Нижегородском Поволжье искусственных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой. Объектом исследований явились одновозрастные ювенильные особи, высаженные в лесные культуры общего назначения на территории Лысковского и Починковского межрайонных лесничеств Нижегородской области. Предметом исследования выступала изменчивость таксационных показателей и признаков морфологии ствола растений, полученных по технологиям закрытой и открытой корневой системы. Методологическая платформа работ основана на принципах единственного логического различия, типичности, пригодности, целесообразности и надежности опыта. Организационно-методическая схема предусматривала проведение натурной таксации со сплошным перечетом деревьев на пробных площадях и выполнение камерального этапа работы. Высоту деревьев фиксировали мерной рейкой с точностью до 1 см. Диаметр ствола у шейки корня измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Наряду с признаками непосредственного учета анализировали производные от них таксационные показатели. Первичную лесоводственную информацию обрабатывали общепринятыми статистическими методами с привлечением дисперсионного анализа. Обнаружили различия в таксационных показателях лесных культур, созданных сеянцами с закрытой и открытой корневой системой. Дисперсия значений характеристик ствола проявилась и на уровне индивидуальной изменчивости особей на разных опытных участках. Зафиксировали достижение наибольшей высоты деревьев в культурах, созданных стандартным посадочным материалом и контейнерными сеянцами.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лесные культуры, стандартные сеянцы, контейнерные сеянцы, таксационные показатели, изменчивость.

*Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 21–31***CREATION OF PINE FOREST CROPS BY SEEDLINGS WITH CLOSED AND OPEN ROOT SYSTEMS
IN THE RIGHT BANK OF THE NIZHNY NOVGOROD VOLGA REGION****N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, N. A. Metelkin, I. A. Scheifler**

Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University
97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
E-mail: lesfak@bk.ru

Abstract. The relevance of the topic of scientific work is justified by the need for modernization and further improvement of methods and technologies of artificial restoration of plantations of the main forest-forming species of the Russian Federation. The purpose of the research is to provide a comparative assessment of the effectiveness of technologies for creating artificial stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Nizhny Novgorod Volga region with a planting material with a closed and open root system. The object of research was single-aged juvenile individuals planted in general-purpose forest crops on the territory of the Lyskovsky and Pochinkovsky interdistrict forestries of the Nizhny Novgorod region. The subject of the study was the variability of taxation indicators and morphological features of plant stems obtained using closed and open root system technologies. The methodological platform of the work is based on the principles of a single logical difference, typicality, suitability, expediency and reliability of experience. The organizational and methodological scheme provided for conducting full-scale taxation with a continuous enumeration of trees on trial areas and performing the desk stage of work. The height of the trees was fixed with a measuring rail with an accuracy of 1 cm. The diameter of the trunk at the root neck was measured with a caliper with an accuracy of 0.1 mm. Along with the signs of direct accounting, the tax indicators derived from them were analyzed. Primary forestry information was processed using generally accepted statistical methods using analysis of variance.

Differences were found in the taxation indicators of forest crops created by seedlings with closed and open root systems. The variance of the values of the trunk characteristics was also manifested at the level of individual variability of individuals in different experimental sites. The achievement of the highest tree height was recorded in crops created by standard planting materials and container seedlings.

Keywords: Scots pine, forest crops, standard seedlings, container seedlings, taxation indicators, variability.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года, векторы которого определены Стратегией, принятой правительством страны, предусматривает неуклонный переход к интенсивным формам ведения отраслевого хозяйства, что в свою очередь предполагает его инновационный характер, базирующийся на принципах устойчивого управления лесами, непрерывного и неистощительного лесопользования. Решение встающих перед специалистами отрасли в этой связи задач может быть достигнуто посредством последовательного совершенствования технологий искусственного лесовосстановления важнейших древесных пород, к числу которых с полным основанием относят сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.) [23; 27; 29–31]. У нас в стране она абсолютно обоснованно признана одним из наиболее востребованных в утилитарном плане аборигенных видов [26; 27; 33]. Благодаря уникальному комплексу полезных свойств сосна неизменно находится в поле зрения российских [1; 5; 33] и зарубежных [41; 47; 49; 50] исследователей, активно изучающих адаптационно-экологические реакции и особенности биологии вида [20; 26; 34; 35], его разнообразные признаки, имеющие хозяйственное [17; 32; 38; 40; 49], адаптационное [10; 13; 42] и идентификационное [6; 7; 11; 12] значение. Важное место в их перечне занимают вопросы селекционного совершенствования [16; 17], семенного [50] и микрклонального [41] размножения, производства посадочного материала, в том числе сеянцев с закрытой корневой системой [18; 19; 25]. Её естественные насаждения охватывают значительную часть Нижегородской области, где помимо реализации своего эксплуатационного потенциала выполняют водоохраные, почвозащитные и другие экостабилизирующие функции [2–4; 28]. Здесь созданы её многочисленные лесные культуры [21; 22], заложено немало лесосеменных плантаций [14], архивов клонов [7], испытательных культур [8]. На текущий момент в регионе сформирована эффективно действующая постоянная лесосеменная база, развернут единый генетико-селекционный комплекс [9]. Однако в последнее время такие работы в Среднем Поволжье недостаточно активны, не завершена разработка теоретической платформы формирования ассортимента лесных культур, не сложился единый взгляд на преимущества и недостатки ряда технологий производства посадочного материала, требует дальнейшего совершенствования процедура всесторонней проверки их качества на основе детального анализа технического, общесанитарного и санитарного состояния лесокультурных объектов.

Цель исследований – дать сравнительную оценку эффективности технологий создания в Правобережье Нижегородского Поволжья искусственных насажде-

ний сосны обыкновенной посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследования представлены участками лесных культур сосны обыкновенной, созданными на территории Лысковского (56.067651N, 45.096479E) и Починковского (54.856127047 N, 45.096813318E) межрайонных лесничеств в Правобережье Нижегородской области. Территориально они располагаются в пределах зоны хвойно-широколиственных лесов и причислены к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. В указанной местности сформирован климат с умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой. В нем распространены серые лесные, а также дерново-подзолистые и подзолистые почвы, в силу чего лесорастительные условия признаются вполне благоприятными для успешного произрастания обширного перечня хвойных пород, включая сосну обыкновенную [2–4; 28]. Метод и способ создания культур: ручная посадка сеянцев древесных пород с применением меча Колесова по подготовленным бороздам. Размещение посадочных мест предусматривало расстояние между рядами 5,0 м, в рядах 0,65 м. (одинаково для всех вариантов и повторностей опыта). Предметом исследования выступала изменчивость таксационных показателей и признаков морфологии ствола деревьев в составе лесных культур, созданных стандартными сеянцами с открытой и закрытой корневой системой. Технологические параметры контейнеров, используемых для выращивания последних, следующие: кассетные блоки «Plantek-F» с внешними габаритами 38,5×38,5×7,3 см; объем ячейки 4,1×4,1×7,3 см; количество ячеек в кассет-блоке – 81 шт. Методологическая платформа работ основана на принципах единственного логического различия, типичности, пригодности, целесообразности и надежности опыта. Организационно-методическая схема предусматривала проведение натурной таксации со сплошным пересчетом деревьев на пробных площадях и выполнение камерального этапа работы. Высоту деревьев фиксировали мерной рейкой с точностью до 1 см. Диаметр ствола у шейки корня измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Первичной единицей выборки выступал разовый замер каждого из тестируемых параметров всех вариантов опыта (технологии производства посадочного материала) и его повторностей (учетные ряды участков лесных культур). Наряду с таксационными показателями, устанавливаемыми в процессе непосредственного учета и фиксации, анализировали производные от них признаки надземной части ствола, получаемые расчетным путем [37–39]. Такой подход широко

распространён в лесоводственных [7; 12; 15] и биологических [13; 36; 46] исследованиях. Первичную лесоводственную информацию обрабатывали общепринятыми методами статистического анализа [43–45; 48; 51]. Изменчивость признаков оценивали по шкале Мамаева [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На опытных участках наблюдалась отчетливо заметная неоднородность исследованных лесных культур по комплексу характеристик надземной части растений, что прослеживалось как на уровне различий между объектами, созданными разным типом посадочного материала, так и в форме индивидуальной внутривидовой изменчивости особей семенного происхождения в пределах каждого из них (табл. 1–7).

Весьма контрастными оказались различия по высоте ствола (см. табл. 1). В этом случае обобщенные по соответствующим пробным площадям параметры

в культурах общего назначения достигли следующих величин: от $121,08 \pm 3,52$ см до $131,16 \pm 5,06$ см (вариант с сеянцами ЗКС) и от $146,38 \pm 3,52$ см до $165,46 \pm 3,67$ см (вариант с сеянцами ОКС) при средних по вариантам опыта значениям $132,33 \pm 2,15$ см и $155,73 \pm 1,66$ см соответственно. На фоне обобщенного по всему массиву данных значению ($144,03 \pm 1,48$ см) превышение оценок участка со стандартными сеянцами над аналогичным показателем участка с контейнерным посадочным материалом составило 23,40 см или в 1,177 раза. Обращает на себя внимание изменчивость характеристик растений на рассматриваемых опытных участках: на первом она оказалась выше и в оценках по коэффициенту вариации ($C_v = 20,56 \dots 26,07$ %) ближе была к среднему уровню по шкале Мамаева ($C_v = 16 \dots 25$ %). На втором участке коэффициенты вариации ($C_v = 10,73 \dots 16,15$ %) преимущественно соответствовали низкому уровню той же шкалы ($C_v = 7 \dots 15$ %).

Таблица 1

Высота ствола деревьев сосны обыкновенной на пробных площадях¹

Учеты	М	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	C_v , %	$t_{оп}$	P, %
Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой (участок 1)									
Ряд 1	121,08	24,90	168,00	78,00	90,00	3,52	20,56	34,39	2,91
Ряд 2	137,16	35,76	220,00	76,00	144,00	5,06	26,07	27,12	3,69
Ряд 3	135,88	27,83	179,00	91,00	88,00	3,94	20,48	34,52	2,90
Ряд 4	135,18	30,72	220,00	90,00	130,00	4,34	22,73	31,12	3,21
Total ₁	132,33	30,55	220,00	76,00	144,00	2,16	23,09	61,25	1,63
Создание лесных культур сеянцами с открытой корневой системой (участок 2)									
Ряд 1	165,46	25,94	230,00	104,00	126,00	3,67	15,68	45,10	2,22
Ряд 2	152,38	21,04	210,00	106,00	104,00	2,98	13,81	51,20	1,95
Ряд 3	146,38	15,71	180,00	121,00	59,00	2,22	10,73	65,87	1,52
Ряд 4	158,68	25,62	230,00	122,00	108,00	3,62	16,15	43,80	2,28
Total ₂	155,73	23,41	230,00	104,00	126,00	1,66	15,03	94,08	1,06
Обобщенное по двум опытным участкам значение									
Total ₀	144,03	29,60	230,00	76,00	154,00	1,48	20,55	97,32	1,03

¹Статистики: М – среднее арифметическое значение, см; СКО – среднеквадратическое отклонение, см; max – максимальное значение, см; min – минимальное значение, см; Δ_{lim} – диапазон лимитов, см; $\pm m$ – ошибка выборочного среднего, см; C_v – коэффициент вариации, %; $t_{оп}$ – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 1,972$; $t_{01} = 2,601$); P – точность опыта, %.

Таблица 2

Диаметр ствола деревьев сосны обыкновенной на пробных площадях¹

Учеты	М	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	C_v , %	$t_{оп}$	P, %
Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой (участок 1)									
Ряд 1	3,25	0,78	4,60	1,60	3,00	0,11	23,98	29,49	3,39
Ряд 2	3,31	0,64	5,28	1,60	3,68	0,09	19,31	36,61	2,73
Ряд 3	3,13	0,22	3,89	2,81	1,08	0,03	7,12	99,37	1,01
Ряд 4	3,26	0,55	5,28	2,80	2,48	0,08	16,90	41,84	2,39
Total ₁	3,24	0,58	5,28	1,60	3,68	0,04	18,04	78,40	1,28
Создание лесных культур сеянцами с открытой корневой системой (участок 2)									
Ряд 1	3,95	0,75	5,86	2,34	3,52	0,11	18,99	37,24	2,69
Ряд 2	3,78	0,61	4,97	2,50	2,47	0,09	16,14	43,81	2,28
Ряд 3	3,65	0,45	4,48	2,98	1,50	0,06	12,34	57,29	1,75
Ряд 4	3,78	0,71	5,86	2,62	3,24	0,10	18,82	37,58	2,66
Total ₂	3,79	0,64	5,86	2,34	3,52	0,05	17,02	83,09	1,20
Обобщенное по двум опытным участкам значение									
Total ₀	3,51	0,67	5,86	1,60	4,26	0,03	19,16	104,40	0,96

¹Статистики: М – среднее арифметическое значение, см; СКО – среднеквадратическое отклонение, см; max – максимальное значение, см; min – минимальное значение, см; Δ_{lim} – диапазон лимитов, см; $\pm m$ – ошибка выборочного среднего, см; C_v – коэффициент вариации, %; $t_{оп}$ – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 1,972$; $t_{01} = 2,601$); P – точность опыта, %.

Подобное утверждение можно сделать относительно лимитов: на участке с реализацией контейнерных технологий выращивания сеянцев их диапазон ($\Delta\text{lim} = 144$ см) оказался шире ($\text{max} = 220$ см; $\text{min} = 76$ см) в сравнении со стандартным вариантом: $\Delta\text{lim} = 126$ см; $\text{max} = 230$ см; $\text{min} = 104$ см.

Аналогичный анализ, выполненный в отношении диаметра ствола у шейки корня в молодняках, продемонстрировал принципиально сходные тенденции при некотором их вполне понятном расхождении. Заметно, что данный параметр растений на сопоставляемых между собой участках также характеризовался значительным разбросом данных (см. табл. 2).

Разброс величин в повторностях опыта был от $3,13 \pm 0,03$ см до $3,31 \pm 0,09$ см (вариант с сеянцами ЗКС) и $6,13 \pm 0,18$ м (вариант с сеянцами ОКС). При этом для вариантов опыта средние значения составили $3,24 \pm 0,04$ см и $3,79 \pm 0,05$ см соответственно, а обобщенное по всем участкам значение – $3,51 \pm 0,03$ см. Превышение средних показателей участка со стандартными сеянцами над аналогичными характеристиками участка с контейнерным посадочным материалом составило 0,81 см или в 1,260 раза. Варьирование диаметра ствола у корневой шейки растений на сопоставляемых опытных участках примерно одинаково, во всяком случае, в объединенных по каждому из них массивов: на первом из них она оказалась чуть выше ($\text{Cv} = 18,04$ %), чем на втором ($\text{Cv} = 17,02$ %). При этом в том и другом случае относилась к среднему уровню по шкале Мамаева ($\text{Cv} = 16...25$ %). Однако на втором участке коэффициенты вариации более выровнены по своей величине ($\text{Cv} = 12,34...18,99$ %) по сравнению с первым ($\text{Cv} = 7,12...23,98$ %), соответствуя низкому ($\text{Cv} = 7...15$ %) и среднему ($\text{Cv} = 16...25$ %) уровню ранее выбранной шкалы. Сходная тенденция зафиксирована по абсолютным значениям: на участке, где использованы контейнерные сеянцы, их диапазон ($\Delta\text{lim} = 3,68$ см) оказался несколько больше ($\text{max} = 5,28$ см; $\text{min} = 1,60$ см) в сравнении вариантом использования традиционных

технологий выращивания посадочного материала: $\Delta\text{lim} = 3,52$ см; $\text{max} = 5,86$ см; $\text{min} = 2,34$ см.

Площадь поперечного сечения ствола как широко используемый на практике таксационный показатель в нашем случае определялся расчетным путем по диаметру у шейки корня растений в силу их ограниченных размеров, связанных с малым возрастом (см. табл. 3). В данном случае обобщенные по соответствующим пробным площадям средние параметры растений колебались от $7,75 \pm 0,16$ см² до $8,92 \pm 0,53$ см² (вариант с сеянцами ЗКС) и от $10,60 \pm 0,37$ см² до $12,66 \pm 0,66$ см² (вариант с сеянцами ОКС).

При этом средние по вариантам опыта оценки составили $8,50 \pm 0,23$ см² и $11,59 \pm 0,28$ см² соответственно, а обобщенное по всем участкам значение – $10,04 \pm 0,20$ см². Изменчивость данного показателя на сравниваемых участках лесных культур в целом выше, не одинакова в достигнутых величинах и на первом из них она была более заметной ($\text{Cv} = 38,29$ %), чем на втором ($\text{Cv} = 34,30$ %). Если в первом случае она неоднородна ($\text{Cv} = 14,49...44,30$ %) и относилась как к низкому ($\text{Cv} = 7...15$ %), так и к высокому уровню по шкале Мамаева ($\text{Cv} = 36...50$ %), то на втором участке была более равномерна в своем проявлении ($\text{Cv} = 24,55...38,58$ %) и соответствовала среднему ($\text{Cv} = 16...25$ %) и повышенному уровню ($\text{Cv} = 26...35$ %). Однако больший диапазон лимитов ($\Delta\text{lim} = 22,67$ см²) имели посадки на втором участке ($\text{max} = 26,97$ см²; $\text{min} = 4,30$ см²), в то время как на первом они были меньше: $\Delta\text{lim} = 19,89$ см²; $\text{max} = 21,90$ см²; $\text{min} = 2,01$ см².

Представление о сбалансированности развития растений в искусственных насаждениях дает рассмотрение соотношения между важнейшими таксационными показателями – высотой и диаметром (см. табл. 4). Изменчивость данного показателя на сравниваемых участках лесных культур в целом выше, не одинакова в достигнутых величинах и на первом из них она была более заметной ($\text{Cv} = 38,29$ %), чем на втором ($\text{Cv} = 34,30$ %).

Таблица 3
Площадь поперечного сечения ствола деревьев на пробных площадях¹

Учеты	М	СКО	max	min	Δlim	$\pm m$	Cv, %	$t_{\text{оп}}$	P, %
Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой (участок 1)									
Ряд 1	8,74	3,87	16,62	2,01	14,61	0,55	44,30	15,96	6,26
Ряд 2	8,92	3,78	21,90	2,01	19,89	0,53	42,40	16,68	6,00
Ряд 3	7,75	1,12	11,88	6,20	5,68	0,16	14,49	48,81	2,05
Ряд 4	8,60	3,41	21,90	6,16	15,74	0,48	39,70	17,81	5,61
Total ₁	8,50	3,26	21,90	2,01	19,89	0,23	38,29	36,94	2,71
Создание лесных культур сеянцами с открытой корневой системой (участок 2)									
Ряд 1	12,66	4,68	26,97	4,30	22,67	0,66	36,93	19,15	5,22
Ряд 2	11,48	3,64	19,40	4,91	14,49	0,52	31,73	22,29	4,49
Ряд 3	10,60	2,60	15,76	6,97	8,79	0,37	24,55	28,80	3,47
Ряд 4	11,60	4,47	26,97	5,39	21,58	0,63	38,58	18,33	5,46
Total ₂	11,59	3,97	26,97	4,30	22,67	0,28	34,30	41,24	2,43
Обобщенное по опытным участкам значение									
Total ₀	10,04	3,94	26,97	2,01	24,96	0,20	39,25	50,95	1,96

¹Статистики: М – среднее арифметическое значение, см²; СКО – среднеквадратическое отклонение, см²; max – максимальное значение, см²; min – минимальное значение, см²; Δlim – диапазон лимитов, см²; $\pm m$ – ошибка среднего, см²; Cv – коэффициент вариации, %; $t_{\text{оп}}$ – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 1,972$; $t_{01} = 2,601$); P – точность опыта, %.

Таблица 4
Отношение высоты ствола к его диаметру на пробных площадях¹

Учеты	М	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	$t_{\text{оп}}$	P, %
Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой (участок 1)									
Ряд 1	0,38	0,05	0,50	0,28	0,22	0,01	14,42	49,04	2,04
Ряд 2	0,42	0,08	0,56	0,26	0,29	0,01	20,29	34,84	2,87
Ряд 3	0,43	0,09	0,62	0,29	0,33	0,01	20,95	33,76	2,96
Ряд 4	0,42	0,08	0,54	0,23	0,32	0,01	19,96	35,42	2,82
Total ₁	0,41	0,08	0,62	0,23	0,39	0,01	19,77	71,55	1,40
Создание лесных культур сеянцами с открытой корневой системой (участок 2)									
Ряд 1	0,43	0,05	0,60	0,35	0,25	0,01	12,57	56,26	1,78
Ряд 2	0,41	0,06	0,53	0,28	0,25	0,01	13,89	50,90	1,96
Ряд 3	0,41	0,05	0,50	0,31	0,19	0,01	12,43	56,90	1,76
Ряд 4	0,43	0,06	0,60	0,31	0,28	0,01	13,52	52,30	1,91
Total ₂	0,42	0,05	0,60	0,28	0,31	0,00	13,21	107,05	0,93
Обобщенное по двум опытным участкам значение									
Total ₀	0,41	0,07	0,62	0,23	0,39	0,00	16,77	119,29	0,84

¹Статистики: М – среднее арифметическое значение, м/см; СКО – среднее квадратическое отклонение, м/см; max – максимальное значение, м/см; min – минимальное значение, м/см; Δ_{lim} – диапазон лимитов, м/см; $\pm m$ – ошибка выборочного среднего, м/см; Cv – коэффициент вариации, %; $t_{\text{оп}}$ – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 1,972$; $t_{01} = 2,601$); P – точность опыта, %.

Таблица 5
Сбег ствола деревьев сосны обыкновенной на пробных площадях¹

Учеты	М	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	$t_{\text{оп}}$	P, %
Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой (участок 1)									
Ряд 1	2,68	0,39	3,61	2,00	1,61	0,05	14,47	48,86	2,05
Ряд 2	2,51	0,54	3,82	1,80	2,02	0,08	21,36	33,11	3,02
Ряд 3	2,40	0,52	3,48	1,62	1,86	0,07	21,70	32,58	3,07
Ряд 4	2,50	0,55	4,44	1,84	2,61	0,08	22,16	31,91	3,13
Total ₁	2,52	0,51	4,44	1,62	2,82	0,04	20,22	69,94	1,43
Создание лесных культур сеянцами с открытой корневой системой (участок 2)									
Ряд 1	2,39	0,28	2,86	1,68	1,18	0,04	11,88	59,54	1,68
Ряд 2	2,49	0,38	3,53	1,88	1,65	0,05	15,08	46,88	2,13
Ряд 3	2,51	0,31	3,20	2,01	1,19	0,04	12,22	57,87	1,73
Ряд 4	2,39	0,31	3,20	1,68	1,52	0,04	13,17	53,69	1,86
Total ₂	2,44	0,32	3,53	1,68	1,85	0,02	13,27	106,56	0,94
Обобщенное по двум опытным участкам значение									
Total ₀	2,48	0,43	4,44	1,62	2,82	0,02	17,27	115,82	0,86

¹Статистики: М – среднее арифметическое значение, см/м; СКО – стандартное отклонение, см/м; max – максимальное значение, см/м; min – минимальное значение, см/м; Δ_{lim} – диапазон лимитов, см/м; $\pm m$ – ошибка среднего, см/м; Cv – коэффициент вариации, %; $t_{\text{оп}}$ – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 1,972$; $t_{01} = 2,601$); P – точность опыта, %.

Если в первом случае она неоднородна ($Cv = 14,49...44,30$ %) и относилась как к низкому ($Cv = 7...15$ %), так и к высокому уровню по шкале Мамаева ($Cv = 36...50$ %), то на втором участке была более равномерна в своем проявлении ($Cv = 24,55...38,58$ %) и соответствовала среднему ($Cv = 16...25$ %) и повышенному уровню ($Cv = 26...35$ %). Однако больший диапазон лимитов ($\Delta_{\text{lim}} = 22,67$ см²) имели посадки на втором участке ($max = 26,97$ см²; $min = 4,30$ см²), в то время как на первом оценки были меньше: $\Delta_{\text{lim}} = 19,89$ см²; $max = 21,90$ см²; $min = 2,01$ см².

Один из важных таксационных показателей – сбег ствола – хотя и был близок по характеру распределения значений к предыдущему признаку, обладал собственной картиной в этом плане (см. табл. 5).

Средние значения отдельных повторностей опыта расположились приблизительно на одном уровне за редким исключением: от $2,40 \pm 0,07$ см/м до $2,68 \pm 0,05$

см/м (сеянцы с закрытой корневой системой) и от $2,39 \pm 0,04$ см/м до $2,51 \pm 0,04$ см/м (сеянцы с открытой корневой системой). Мало различались между собой и обобщенные по каждой из технологий значения: $2,52 \pm 0,04$ см/м и $2,44 \pm 0,02$ см/м соответственно. В то же время лимиты расходились более заметно: на участке, где использованы контейнерные сеянцы, их диапазон ($\Delta_{\text{lim}} = 2,82$ см/мм) оказался несколько шире ($max = 4,44$ см/мм; $min = 1,62$ см/мм) по сравнению с вариантом использования традиционных технологий выращивания посадочного материала ($\Delta_{\text{lim}} = 1,85$ см/мм; $max = 3,53$ см/мм; $min = 1,68$ см/мм). Оценки коэффициента вариации адекватно отражали сложившуюся ситуацию: $Cv = 14,47...22,16$ % в первом случае и $Cv = 11,18...15,08$ % – во втором, что соответствовало преимущественно низкому ($Cv = 7...15$ %) или среднему ($Cv = 16...25$ %) уровню изменчивости по шкале Мамаева.

Характеризующий темпы увеличения линейных параметров высаженных на лесокультурную площадь сеянцев индекс напряженности роста деревьев демонстрировал отчетливую реакцию на смену технологий производства посадочного материала (табл. 6).

В частности, обобщенные по ним оценки различались чуть более контрастно, чем по предыдущим характеристикам: $Total_{ЗКС} = 0,17 \pm 0,004$ м/см²; $Total_{ОКС} = 0,15 \pm 0,003$ м/см². На фоне усреднения по всем пробным площадям ($Total_0 = 0,16 \pm 0,002$ м/см²) разность составила 0,03 м/см², а превышение – в 1,157 раза. В то же время в пределах каждой из групп оценки повторностей сравнительно выровнены: 0,16...0,18 м/см² (технологии ЗКС) и 0,14...0,15 м/см² (технологии ОКС). Разброс абсолютных значений в них более выражен: $\Delta lim = 0,37$ м/см² (max = 0,44 м/см²; min = 0,07 м/см²) на участке с закрытой корневой системой и $\Delta lim = 0,21$ м/см² (max = 0,29 м/см²; min = 0,08 м/см²) на контрольном участке.

Надежной характеристикой сравниваемых насаждений служит объем цилиндра, построенного на площади поперечного сечения ствола, используемый в таксации при вычислении видового числа (табл. 7).

Оценки данного показателя, как и все предыдущие, неодинаковы: от $1057,47 \pm 41,14$ см³ до $1315,55 \pm 132,63$ см³ (технологии ЗКС) и от $1568,90 \pm 67,95$ см³ до $2185,25 \pm 150,89$ см³ (технологии ОКС). Превышение по участкам составило на $258,08$ см³ или в 1,24 раза и на $616,34$ см³ или в 1,39 раза соответственно. Те же соотношения в обобщенном массиве данных достигли $685,81$ см³ или в 1,58 раза в пользу традиционных технологий. Расхождения в лимитах соответствовали представленной картине: $\Delta lim = 4660,21$ см³ (max = $4817,04$ см³; min = $156,83$ см³) на участке с закрытой корневой системой и $\Delta lim = 5189,53$ см³ (max = $5636,78$ см³; min = $447,25$ см³) на контрольном участке. При этом общий их диапазон ($\Delta lim = 5479,96$ см³) был еще больше (max = $5636,78$ см³; min = $156,83$ см³). В итоге это привело к существенному увеличе-

нию общей дисперсии, что корректно зафиксировали коэффициенты вариации: $Cv = 27,51...71,29$ % в первом случае и $Cv = 30,62...53,87$ % – во втором. За редким исключением они соответствовали высокому ($Cv = 36...50$ %) или очень высокому ($Cv > 50$ %) уровню изменчивости по ранее выбранной шкале.

Полученные по представленным анализируемым признакам результаты в подавляющем большинстве статистически значимы и надежны, на что указывают расчетные величины критерия Стьюдента, превзошедшие допустимый табличный минимум и относительная ошибка опыта, не переступившая 5-процентный порог. Наблюдаемая картина распределения величин анализируемых признаков указывает на их достаточную стабильность. В целом, это в полной мере соответствует классическим представлениям о характере формирования и развития параметров надземной части хвойных древесных пород и сосны обыкновенной, в частности.

Однофакторный дисперсионный анализ позволил получить надежные оценки доли влияние организованного фактора, в нашем случае различий в типах посадочного материала, использованного при создании лесных культур (источник дисперсии по вариантам опыта), на формирование общего фона фенотипической изменчивости и индивидуальных различий особей в составе каждого из вариантов (табл. 8).

В подавляющем большинстве признаков (5 из 7), интегрированных в дисперсионный комплекс, наблюдались существенные различия между вариантами технологий производства посадочного материала, использованного в создании обследованных лесных культур. Данный факт получил подтверждение величиной расчетных критериев Фишера ($F_{оп} = 23,48...79,50$), которые заметно превосходили соответствующие индикаторы статистической значимости ($F_{05/01} = 3,86/6,70$).

Таблица 6
Индекс напряженности роста деревьев сосны на пробных площадях¹

Учеты	М	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	$t_{оп}$	P, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой (участок 1)									
Ряд 1	0,16	0,07	0,39	0,08	0,31	0,01	41,50	17,04	5,87
Ряд 2	0,17	0,06	0,44	0,10	0,35	0,01	34,08	20,75	4,82
Ряд 3	0,18	0,04	0,28	0,11	0,17	0,01	23,74	29,79	3,36
Ряд 4	0,17	0,04	0,25	0,07	0,17	0,01	25,76	27,45	3,64
Total ₁	0,17	0,05	0,44	0,07	0,37	0,00	31,65	44,69	2,24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Создание лесных культур сеянцами с открытой корневой системой (участок 2)									
Ряд 1	0,14	0,04	0,29	0,08	0,21	0,01	31,00	22,81	4,38
Ряд 2	0,14	0,04	0,25	0,08	0,17	0,01	27,97	25,28	3,96
Ряд 3	0,14	0,03	0,21	0,10	0,11	0,00	22,15	31,92	3,13
Ряд 4	0,15	0,04	0,29	0,08	0,21	0,01	29,17	24,24	4,13
Total ₂	0,15	0,04	0,29	0,08	0,21	0,00	27,65	51,14	1,96
Обобщенное по двум опытным участкам значение									
Total ₀	0,16	0,05	0,44	0,07	0,37	0,00	30,92	64,68	1,55

¹Статистики: М – среднее арифметическое значение, м/см²; СКО – стандартное отклонение, м/см²; max – максимальное значение, м/см²; min – минимальное значение, м/см²; Δlim – диапазон лимитов, м/см²; $\pm m$ – ошибка среднего, м/см²; Cv – коэффициент вариации, %; $t_{оп}$ – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 1,972$; $t_{01} = 2,601$); P – точность опыта, %.

Таблица 7

Объем видового цилиндра деревьев сосны обыкновенной на участках¹

Учеты	М	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	$t_{оп}$	P, %
Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой (участок 1)									
Ряд 1	1134,36	653,23	2528,79	156,83	2371,96	92,38	57,59	12,28	8,14
Ряд 2	1315,55	937,85	4817,04	178,95	4638,10	132,63	71,29	9,92	10,08
Ряд 3	1057,47	290,88	2091,71	574,61	1517,10	41,14	27,51	25,71	3,89
Ряд 4	1217,58	831,68	4817,04	601,55	4215,49	117,62	68,31	10,35	9,66
Total ₁	1181,24	722,54	4817,04	156,83	4660,21	51,09	61,17	23,12	4,33
Создание лесных культур сеянцами с открытой корневой системой (участок 2)									
Ряд 1	2185,25	1066,92	5636,78	447,25	5189,53	150,89	48,82	14,48	6,90
Ряд 2	1792,52	753,87	4074,01	520,33	3553,68	106,61	42,06	16,81	5,95
Ряд 3	1568,90	480,45	2711,28	861,01	1850,27	67,95	30,62	23,09	4,33
Ряд 4	1921,54	1035,04	5636,78	711,08	4925,71	146,38	53,87	13,13	7,62
Total ₂	1867,05	889,25	5636,78	447,25	5189,53	62,88	47,63	29,69	3,37
Обобщенное по двум опытным участкам значение									
Total ₀	1524,15	879,01	5636,78	156,83	5479,96	43,95	57,67	34,68	2,88

¹Статистики: М – среднее арифметическое значение, см³; СКО – среднеквадратическое отклонение, см³; max – максимальное значение, см³; min – минимальное значение, см³; Δ_{lim} – диапазон лимитов, см³; $\pm m$ – ошибка среднего, см³; Cv – коэффициент вариации, %; $t_{оп}$ – опытный критерий Стьюдента ($t_{05} = 1,972$; $t_{01} = 2,601$); P – точность опыта, %.

Таблица 8

Существенность различий в эффективности технологий создания лесных культур сосны обыкновенной^{1,2}

Признаки	F _{оп}	Доля влияния фактора (h ² ± s _h ²)						Критерии различий	
		по Плохинскому			по Снедекору				
		h ²	± s _h ²	F _h ²	h ²	± s _h ²	F _h ²	HCP ₀₅	D ₀₅
Признак 1	73,92	0,1566	0,0021	73,923	0,2672	0,0018	145,117	5,35	5,39
Признак 2	79,50	0,1665	0,0021	79,502	0,2819	0,0018	156,218	0,12	0,12
Признак 3	72,08	0,1533	0,0021	72,079	0,2622	0,0019	141,447	0,71	0,72
Признак 4	0,35	0,0009	0,0025	0,352	—	—	—	0,014	0,014
Признак 5	3,51	0,0087	0,0025	3,511	0,0124	0,0025	4,998	0,084	0,085
Признак 6	23,48	0,0557	0,0024	23,482	0,1011	0,0023	44,739	0,009	0,009
Признак 7	71,65	0,1526	0,0021	71,653	0,2610	0,0019	140,599	159,28	160,41

¹Показатели: $F_{оп}$ – опытное значение критерия Фишера; $F_{05/01}$ – табличное значение критерия Фишера на 5-процентном и на 1-процентном уровне значимости ($F_{05/01} = 3,86/6,70$); h^2 – доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ – ошибка доли влияния организованного фактора; F_h^2 – критерий достоверности доли влияния организованного фактора; HCP₀₅ – наименьшая существенная разность на 5-процентном уровне значимости; D₀₅ – критерий Тьюки на 5-процентном уровне значимости; число первичных единиц выборки каждого признака – 400 п.е.в.; общая емкость базы данных дисперсионного комплекса – 2800 дата-единиц.

²Признаки: 1 – высота ствола; 2 – диаметр ствола у шейки корня; 3 – площадь поперечного сечения ствола у шейки корня; 4 – отношение высоты ствола к его диаметру; 5 – сбеги ствола; 6 – индекс напряженности роста дерева; 7 – объем видового цилиндра.

Для них нулевая гипотеза об отсутствии различий такого плана не была верифицирована. В такой ситуации возникает возможность развития анализа в части вычисления доли влияния организованного фактора (в нашем случае – эффект влияния технологических различий) на формирование общей фенотипической изменчивости. Исключение составили отношение высоты ствола к его диаметру (признак 4) и сбеги ствола (признак 5), в разрезе которых участки культур не различались ($F_{оп} < F_{05/01}$). Проведенные в соответствии с вышеизложенным вычисления указанного показателя ($h^2 \pm mh^2$) методом Плохинского обнаружили его величину в пределах от $5,57 \pm 0,24$ % (признак 5) до $16,65 \pm 0,21$ % (признак 2). Полученные оценки статистически надежны, поскольку соответствующие критерии их достоверности ($F_h^2 = h^2/mh^2$) превысили минимально допустимые значения критерия Фишера ($F_h^2 > F_{05/01}$).

Не учитываемые в опыте случайные факторы генерировали внутригрупповую или остаточную дисперсию рассматриваемых характеристик ствола, которая достигала величины 83,35...94,43 %. Эти сведения указывают на существенную зависимость проявлений основных таксационных показателей и производных признаков от внешних факторов, которые чаще связывают с неизбежной в таких случаях пестротой лесорастительных условий. Вместе с тем, данное обстоятельство создает возможность влияния на них через технологически доступные изменения, например, почвенных параметров, которые можно получить в процессе агротехнических и лесоводственных уходов за лесными культурами. Привлечение к расчетам алгоритма Снедекора дало вполне сопоставимый результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесные культуры сосны обыкновенной, созданные в Правобережье Нижегородского Поволжья посадоч-

ным материалом с открытой и закрытой корневой системой, характеризовались хорошо заметными различиями основных таксационных показателей и других признаков стволовой части учетных деревьев. Разброс значений проявлялся как между собственно участками, так и на уровне индивидуальной изменчивости в пределах каждого из них. При этом расхождения между вариантами технологий по всем тестируемым признакам оказались более выраженными на фоне сравнительно выровненных значений в их пределах. Преимущества в росте и развитии на ранних этапах онтогенеза имели сеянцы, выращиваемые по типовым технологиям. Дисперсионный анализ подтвердил существенность отмеченных различий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Геногеографическая дифференциация популяций *Pinus sylvestris* L. в Центральной Якутии / Д. С. Абдуллина, И. В. Петрова, А. П. Исаев, С. Н. Санников, Е. В. Егоров // Аграрный вестник Урала. 2011. № 11(90). С. 20–21.
2. Аверкиев Д. С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Ученые записки Горьковского университета. Горький, 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.
3. Алехин В. В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Ленинград – Горький : Горьковский государственный университет – 1 картографическая фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ). 1935. 67 с.
4. Алехин В. В. Растительность СССР в основных зонах. М. : Советская наука, 1951. 512 с.
5. Альбенский А. В. Формы сосны в Забайкалье // Лесное хозяйство. 1941. № 1. С. 56–57.
6. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Терешанцев Н. А. Варьирование угла крепления боковых побегов к стволу плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3 (27). С. 23–32.
7. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н., Горелов А. Н. Индекс неидентичности в сравнительной оценке плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов в Нижегородской области // Сельские территории – основа развития страны: современное состояние, проблемы и перспективы : матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. науч.-пед. раб. и молодых ученых. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2022. С. 20–26.
8. Бессчетнова Н. Н. Оценка эффективности отбора плюсовых деревьев сосны обыкновенной в испытательных культурах в Нижегородской области // Лесной вестник / Forestry bulletin. 2009. № 2 (65). С. 31–36.
9. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Проблемы и перспективы развития отечественной лесной селекции // Материалы международного агробиотехнологического симпозиума, г. Нижний Новгород, 23–25 сентября 2015 г. Нижний Новгород : БИКАР, 2016. С. 116–120.
10. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Тютин А. Ю. Изменчивость количества боковых побегов в мутонках плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3 (27). С. 33–41.
11. Видякин А. И. Индексная оценка признаков популяционной структуры сосны обыкновенной // Лесоведение. 1991. № 1. С. 57–62.
12. Видякин А. И. Изменчивость формы апофизов шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке европейской части России // Экология. 1995. № 5. С. 356–362.
13. Гаврилова О. И., Феклистов П. А., Грязькин А. В. Биометрические характеристики ассимиляционного аппарата самосева сосны на гари // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2022i10pp30-33
14. Горелов А. Н., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации // Хвойные бореальной зоны, 2022. Т. 40, № 1. С. 27–37.
15. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую область / А. О. Есичев, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. Н. Бабич, Е. Ж. Кентбаев, Б. А. Кентбаева // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 1. С. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27
16. Ефимов Ю. П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной. Воронеж : Истоки, 2010.
17. Ефимов В. М., Тараканов В. В., Роговцев Р. В. Применение методов многомерной статистики для ранней диагностики лучших по росту популяций сосны в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 1-2. С. 58–62.
18. Жигунов А. В. Посадочный материал с закрытой корневой системой // Лесное хозяйство. 1998. № 4. С. 33–33.
19. Жигунов А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. Санкт Петербург : СПбНИИЛХ, 2000. 293 с.
20. Особенности роста сосны обыкновенной в условиях Красноярской лесостепи / В. В. Иванов, А. Н. Борисов, О. А. Шапченкова, А. Е. Петренко // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. № 5. С. 40–50. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-40-50
21. Коваленко И. П., Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной посевом семян в Нижегородской области // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Вологда: Вологодский государственный университет, 2020. С. 60–62.
22. Лабутинов А. Н., Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Эффективность лесных культур сосны и ели, созданных в Нижегородской области в рамках реализации проекта «Леса Киото» // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Вологда: Вологодский государственный университет, 2020. С. 72–74.
23. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). Москва : Наука, 1972. 283 с.
24. Мамаев С. А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. II. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразо-

вания и дифференциации вида у древесных растений : труды Института экологии растений и животных. Свердловск, 1969. С. 3–38.

25. Мочалов Б. А., Бабушкина С. В. Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на Севере // Лесной журнал. Известия высших учебных заведений. 2013. № 5. С. 65–70.

26. Осипенко А. Е., Залесов С. В. Формирование морфологии деревьев культивируемых сосновых древостоев // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. № 2. С. 105–117. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-105-117

27. Пшегусов Р. Х., Чадаева В. А. Пространственное распределение сосновых лесов Кавказа // Известия вузов. Лесной журнал. 2025. № 2. С. 92–111. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-2-92-111

28. Полуяхтов К. К. Лесорастительное районирование Горьковской области // Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. Горький: Изд-во Горьковского государственного университета, 1974. С. 4–20.

29. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М. : Наука, 1964. 190 с.

30. Правдин Л. Ф. Закономерности внутривидовой изменчивости сосны (*Pinus* L.) и ели (*Piceae* A. Dietr.) // Доклады ученых – участников Международного симпозиума по селекции, генетике и лесному семеноводству хвойных пород, г. Новосибирск, 19–25 июня 1972 г. Пушкино : ВНИИЛМ, 1972. С. 16–25.

31. Правдин Л. Ф. Направление и содержание работ по изучению природного разнообразия древесных пород и их значение для лесной селекции // Лесоведение. 1967. № 3. С. 3–16.

32. Придача В. Б., Пеккоев А. Н., Неронова Я. А. Особенности роста и структуры древесины сосны на вырубке и под пологом древостоя в условиях Республики Карелии // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. № 4. С. 92–105. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-4-92-105

33. Пшегусов Р. Х., Чадаева В. А. Пространственное распределение сосновых лесов Кавказа // Известия вузов. Лесной журнал. 2025. № 2. С. 92–111. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-2-92-111

34. Тарханов С. Н., Пинаевская Е. А., Аганина Ю. Е. Адаптация и морфологическое состояние разных форм сосны в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги // Лесоведение. 2022. № 1. С. 72–84. DOI: 10.31857/S0024114821060103

35. Тарханов С. Н., Пинаевская Е. А., Аганина Ю. Е. Адаптивные реакции морфологических форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) в стрессовых условиях северной тайги (на примере Северо-Двинского бассейна) // Сибирский экологический журнал. 2018. Т. 25, № 4. С. 425–437. DOI: 10.15372/SEJ20180404

36. Уразов П. Н., Усольцев В. А., Уразова А. Ф. Структура надземной фитомассы насаждений в защитных лесных полосах Свердловской железной дороги // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 1 (92). С. 4–17. DOI: 10.51318/FRET.2025.92.1.001

37. Усольцев В. А. Модели конверсионно-объемных коэффициентов биомассы еловых древостоев в географических градиентах Евразии // Хвойные бо-

реальной зоны. 2025. Т. XLIII, No 1. С. 7–12. DOI: 10.53374/1993-0135-2025-1-7-12

38. Региональные особенности базисной плотности стволов в коре у хвойных древесных видов Евразии / В. А. Усольцев, Н. И. Плюха, И. С. Цепордей, Е. М. Ангальт // Хвойные бореальной зоны. 2024а. Т. XLII, No. 5, С. 7–16. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-5-7-16

39. Усольцев В. А., Плюха Н. И., Цепордей И. С. Отношение диаметра кроны к диаметру ствола: всеобщие модели лесообразующих видов Евразии // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 1. С. 36–42. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-1-36-42

40. Хох А. Н., Звягинцев В. Б. Дифференциация сосняков, произрастающих в долгомошном и багульниковом типах леса по морфолого-анатомическим параметрам годичных слоев // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века : материалы 21-й Международ. науч. конф. В 2 ч. Минск : ИВЦ Министерства финансов Республики Беларусь, 2021. С. 355–358.

41. Anderson U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds in vitro // Annals of Botany, 2002, Vol. 90, Is. 2, Pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176

42. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Babich N. A., Bryntcev V. A. Differentiation of the plus trees of Scots pine on the physiological status of xylem // Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]. 2023. № 4. Pp. 9–25.

43. Dean A. Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag GmbH, 2017. 865 p.

44. Mead R., Curnow R. N., Hasted A. M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. 3rd. ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.

45. Mason R. L., Gunst R. F., Hess J. L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.

46. Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees // The Forestry Chronicle. 2010. Vol. 86, No. 5. P. 608–613. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc86608-5>

47. Homeostatic levels of nonstructural carbohydrates after 13 yr of drought and irrigation in *Pinus sylvestris* / L. Schonbeck, A. Gessler, G. Hoch, N. G. McDowell, A. Rigling, M. Schaub, M.-H. Li // New Phytologist, 2018, Vol. 219, Pp. 1314–1324. DOI: 10.1111/nph.1522

48. Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States) : Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.

49. Improving Jelly Nutrient Profile with Bioactive Compounds from Pine (*Pinus sylvestris* L.) Extracts / L. G. Szanto, R. A. Marc, A. E. Muresan, C. C. Muresan, A. Puscas, F. Ranga, F. Fetea, P. I. Moraru, M. Filip, S. Muste // Forests. 2025. Vol. 16. Article No. 11. Total pages 22. Pp. 1–22. DOI: 10.3390/f16010011

50. Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year // Silva Fennica, 2007, Vol. 41, Is. 2, Pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298

51. Zar J. H. Biostatistical Analysis: Fifth Edition. Edinburg Gate: Pearson New International edition – Pearson Education Limited, 2014. 756 p.

REFERENCES

1. Abdullina D. S., Petrova I. V., Isaev A. P., Sannikov S. N., Egorov E. V. Genogeograficheskaja differenciacija populjacij *Pinus sylvestris* L. v Central'noj Jakutii. *Agrarnyj vestnik Urala*. 2011. No. 11(90). Pp. 20–21. (In Russ.).
2. Averkiev D. S. Istorija razvitija rastitel'nogo pokrova Gor'kovskoj oblasti i ee botaniko-geografi-cheskoe delenie // *Uchenye zapiski Gor'kovskogo universiteta. Gor'kij*, 1954. Vypusk XXXV. Pp. 119–136. (In Russ.).
3. Alehin V. V. Ob#jasnitel'naja zapiska k geobotanicheskim kartam (sovremennoj i vosstanovlennoj) byvshej Nizhegorodskoj gubernii (v masshtabe 1:500.000). Leningrad – Gor'kij : Gor'kovskij gosudarstvennyj universitet – 1 kartograficheskaja fabrika VKT (tip. 1 kartogr. fabriki VKT). 1935. 67 p. (In Russ.).
4. Alehin V. V. Rastitel'nost' SSSR v osnovnyh zonah. M. : Sovetskaja nauka, 1951. 512 p. (In Russ.).
5. Al'benskij A. B. Formy sosny v Zabajkal'e // *Lesnoe hozjajstvo*. 1941. No. 1. Pp. 56–57. (In Russ.).
6. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Tereshancev N. A. Var'irovanie ugla kreplenija bokovyh pobegov k stvolu pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj // *Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*. 2020. No. 3 (27). Pp. 23–32. (In Russ.).
7. Besschetnov V. P., Besschetnova N. N., Gorelov A. N. Indeks neidentichnosti v sravnitel'noj ocenke pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj v arhivah klonov v Nizhegorodskoj oblasti // *Sel'skie territorii – osnova razvitija strany: sovremennoe sostojanie, problemy i perspektivy: Materialy Vseross. (nacional'noj) nauchn.-prakt. konf. nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov i molodyh uchenyh. Nizhnij Novgorod, Nizhegorodskaja GSHA*, 2022. Pp. 20–26. (In Russian)
8. Besschetnova N. N. Ocenka jeffektivnosti otbora pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj v ispytatel'nyh kul'turah v Nizhegorodskoj oblasti // *Lesnoj vestnik / Forestry bulletin*. 2009. No. 2 (65). Pp. 31–36. (In Russ.).
9. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Problemy i perspektivy razvitija otechestvennoj lesnoj selekcii // *Materialy mezhdunarodnogo agrobiotehnologicheskogo simpoziuma, g. Nizhnij Novgorod, 23–25 sentjabrja 2015 g. Nizhnij Novgorod : BIKAR*, 2016. Pp. 116–120. (In Russ.).
10. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Tjutin A. Ju. Izmenchivost' kolichestva bokovyh pobegov v mutovkah pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj // *Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*. 2020. No. 3 (27). Pp. 33–41. (In Russ.).
11. Vidjakin, A. I. Izmenchivost' formy apofizov shishek v populjacijah sosny obyknovennoj na vostoce evropejskoj chasti Rossii // *Jekologija*. 1995. № 5. Pp. 356–362. (In Russ.).
12. Vidjakin A. I. Indeksnoj ocenka priznakov populjacionnoj struktury sosny obyknovennoj // *Lesovedenie*. 1991. No. 1. Pp. 57–62. (In Russian)
13. Gavrilova O. I., Feklistov P. A., Grjaz'kin A. V. Biometricheskie harakteristiki assimiljacionnogo apparata samoseva sosny na gari // *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2022. No. 10. Pp. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2022i10pp30-33 (In Russ.).
14. Gorelov A. N., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Sravnitel'naja ocenka taksacionnyh pokazatelej pljusovyh derev'ev sosny obyknovennoj na lesosemennoj plantacii // *Hvojnye boreal'noj zony*, 2022. T. 40, No. 1. Pp. 27–37. (In Russ.).
15. Esichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Babich A. N., Kentbaev E. Zh., Kentbaeva B. A. Soderzhanie i balans zapasnyh veshhestv v pobegah listvennicy sibirskoj v uslovijah reintrodukcii v Nizhegorodskuju oblast' // *Lesnoj vestnik / Forestry Bulletin*, 2022. T. 26, No. 1. Pp. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27 (In Russ.).
16. Efimov Ju. P. Semennye plantacii v selekcii i semenovodstve sosny obyknovennoj. Voronezh : Istoki, 2010. 253 p.
17. Efimov V. M., Tarakanov V. V., Rogovtsev R. V. Primenenie metodov mnogomernoj statistiki dlja rannej diagnostiki luchshih po rostu populjacij sosny v geograficheskikh kul'turah // *Khvoinye boreal'noj zony = Conifers of the Boreal Area*, 2010, Vol. XXVII, No. 1–2, Pp. 58–62. (In Russ.).
18. Zhigunov A. V. Posadochnyj material s zakrytoj kornevoj sistemoj // *Lesnoe hozjajstvo*. 1998. No. 4. Pp. 33–33. (In Russ.).
19. Zhigunov A. V. Teorija i praktika vyrashhivaniya posadochnogo materiala s zakrytoj kornevoj sistemoj. Sankt-Peterburg : SPbNIILH, 2000. 293 p. (In Russian)
20. Ivanov V. V., Borisov A. N., Shapchenkova O. A., Petrenko A. E. Osobennosti rosta sosny obyknovennoj v uslovijah Krasnojarskoj lesostepi // *Lesnoj Zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2024. No. 5. Pp. 40–50. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-40-50 (In Russ.).
21. Kovalenko I. P., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Jeffektivnost' sozdaniya lesnyh kul'tur sosny obyknovennoj posevom semjan v Nizhegorodskoj oblasti // *Aktual'nye problemy razvitija lesnogo kompleksa. Vologda : Vologodskij gosudarstvennyj universitet*, 2020. Pp. 60–62. (In Russ.).
22. Labutin A. N., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Jeffektivnost' lesnyh kul'tur sosny i eli, sozdannyh v Nizhegorodskoj oblasti v ramkah realizacii proekta «Lesa Kioto» // *Aktual'nye problemy razvitija lesnogo kompleksa. Vologda : Vologodskij gosudarstvennyj universitet*, 2020. Pp. 72–74. (In Russ.).
23. Mamaev S. A. Formy vnutrividovoj izmenchivosti drevesnyh rastenij (na primere semejstva Pinaceae na Urale). Moskva : Nauka, 1972. 283 p. (In Russ.).
24. Mamaev S. A. O problemah i metodah vnutrividovoj sistematiki drevesnyh rastenij. II. Amplituda izmenchivosti // *Zakonomernosti formoobrazovaniya i differenciacii vida u drevesnyh rastenij : Trudy Instituta jekologii rastenij i zhivotnyh. Sverdlovsk*, 1969. Pp. 3–38. (In Russ.).
25. Mochalov B. A., Babushkina S. V. Vlijanie vida kasset na razmery sejancev sosny s zakrytymi kornjami i ih rost v kul'turah na Severe // *Lesnoj zhurnal. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij*. 2013. № 5. Pp. 65–70. (In Russ.).
26. Osipenko A. E., Zalesov S. V. Formirovanie morfologii derev'ev kul'tiviruemyh sosnovykh drevostoev // *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal*. 2024. № 2. Pp. 105–117. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-105-117 (In Russ.).

27. Pshegusov R. H., Chadaeva V. A. Prostranstvennoe raspredelenie sosnovykh lesov Kavkaza // *Izvestiya vuzov. Lesnoj zhurnal*. 2025. No. 2. Pp. 92–111. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-2-92-111 (In Russ.).
28. Polujahtov K. K. Lesorastitel'noe rajonirovanie Gor'kovskoj oblasti // *Biologicheskie osnovy povyshenija produktivnosti i ohrany lesnykh, lugovykh i vodnykh fitocenozov Gor'kovskogo Povolzh'ja*. Gor'kij : Izd-vo Gor'kovskogo gosudarstvennogo universiteta, 1974. Pp. 4–20. (In Russ.).
29. Pravdin L. F. Sosna obyknovennaja. Izmenchivost', vnutrividovaja sistematika i selekcija. Moskva, 1964, 190 p. (In Russ.).
30. Pravdin L. F. Zakonomernosti vnutrividovoj izmenchivosti sosny (Pinus L.) i eli (Picea A. Dietr.) // *Doklady uchenykh – uchastnikov Mezhdunarodnogo simpoziuma po selekcii, genetike i lesnomu semenovodstvu hvojnykh porod: g. Novosibirsk, 19–25 ijunja 1972 g. Pushkino : VNIILM, 1972. Ppr. 16–25. (In Russ.).*
31. Pravdin L. F. Napravlenie i sodержanie rabot po izucheniju prirodnogo raznoobrazija drevesnykh porod i ih znachenie dlja lesnoj selekcii // *Lesovedenie*. 1967. No. 3. Pp. 3–16. (In Russ.).
32. Pridacha V. B., Pekkoev A. N., Neronova Ya. A. Osobennosti rosta i struktury drevesiny sosny na vyrubke i pod pologom drevostoja v uslovijah Respubliki Karelii // *Lesnoj Zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2024. No. 4. Pp. 92–105. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-4-92-105 (In Russ.).
33. Pshegusov R. Kh., Chadaeva V. A. Prostranstvennoe raspredelenie sosnovykh lesov Kavkaza // *Lesnoj Zhurnal = Russian Forestry Journal*. 2025. No. 2. Pp. 92–111. DOI: 10.37482/0536-1036-2025-2-92-111 (In Russ.).
34. Tarkhanov S. N., Pinaevskaya Ye. A., Aganina Yu. Ye. Adaptacija i morfologicheskoe sostojanie raznykh form sosny v uslovijah postojannogo izbytochnogo uvlazhnenija pochv severnoj tajgi // *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*. 2022. No. 1. Pp. 72–84. DOI: 10.31857/S0024114821060103 (In Russ.).
35. Tarkhanov S. N., Pinaevskaya E. A., Aganina Yu. E. Adaptivnye reakcii morfologicheskikh form sosny (*Pinus sylvestris* L.) v stressovykh uslovijah severnoj tajgi (na primere Severo-Dvinskogo bassejna) // *Sibirskij ekologicheskij zhurnal = Contemporary Problems of Ecology*. 2018. No. 4. Pp. 425–437. DOI: 10.15372/SEJ20180404 (In Russ.).
36. Urazov P. N., Usol'cev V. A., Urazova A. F. Struktura nadzemnoj fitomassy nasazhdenij v zashhitnykh lesnykh polosah Sverdlovskoj zheleznoj dorogi // *Lesa Rossii i hozjajstvo v nih*. 2025. № 1 (92). Pp. 4–17. DOI: 10.51318/FRET.2025.92.1.001 (In Russ.).
37. Usol'cev V. A. Modeli konverzionno-obremnykh koeficientov biomassy elovykh drevostoev v geografičeskikh gradientah Evrazii // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2025. T. XLIII, No 1. Pp. 7–12. DOI: 10.53374/1993-0135-2025-1-7-12 (In Russ.).
38. Usol'cev V. A., Pljuha N. I., Cepordej I. S., Angal't E. M., Regional'nye osobennosti bazisnoj plotnosti stvolov v kore u hvojnykh drevesnykh vidov Evrazii // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2024a. T. XLII, No 5, Pp. 7–16. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-5-7-16 (In Russ.).
39. Usol'cev V. A., Pljuha N. I., Cepordej I. S. Otnoshenie diametra krony k diametru stvola: vseobshhie modeli lesoobrazujushchih vidov Evrazii // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2024. T. XLII, No 1. Pp. 36–42. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-1-36-42 (In Russ.).
40. Hoh A. N., Zvjagincev V. B. Differenciacija sosnjakov, proizrastajushchih v dolgomoshnom i bagul'nikovom tipah lesa po morfologo-anatomicheskim parametram godichnykh sloev // *Saharovskie chtenija 2021 goda: jekologicheskie problemy XXI veka : mater. 21-j Mezhdunarod. nauch. konf. V 2 ch. Minsk : IVC Ministerstva finansov Respubliki Belarus', 2021. Pp. 355–358. (In Russ.).*
41. Andersone U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds in vitro // *Annals of Botany*, 2002, Vol. 90, Is. 2, Pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176
42. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Babich N. A., Bryntcev V. A. Differentiation of the plus trees of Scots pine on the physiological status of xylem // *Lesnoj Zhurnal [Russian Forestry Journal]*. 2023. № 4. Pp. 9–25.
43. Dean A. Voss D., Draguljić D. Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics) 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany : Springer-Verlag GmbH, 2017. 865 p.
44. Mead R., Curnow R. N., Hasted A. M. Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology. 3rd. ed. New York : Chapman and Hall/CRC, 2003. 488 p.
45. Mason R. L., Gunst R. F., Hess J. L. Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science. 2nd. Edition. Hoboken, New Jersey (Printed in the USA): Wiley-Interscience, Wiley Series in Probability and Statistics, 2003. 752 p.
46. Noll F., Lyons C. K. A novel method for manually falling trees // *The Forestry Chronicle*. 2010. Vol. 86, No. 5. P. 608–613. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc86608-5>
47. Schonbeck L., Gessler A., Hoch G., McDowell N. G., Rigling A., Schaub M., Li M.-H. Homeostatic levels of nonstructural carbohydrates after 13 yr of drought and irrigation in *Pinus sylvestris* // *New Phytologist*, 2018, Vol. 219, Pp. 1314–1324. DOI: 10.1111/nph.1522
48. Srinagesh K. The Principles of Experimental Research. Waltham, Massachusetts (United States): Butterworth-Heinemann, 2005. 432 p.
49. Szanto L. G., Marc R. A., Muresan A. E., Muresan C. C., Puscas A., Ranga F., Fetea F., Moraru P. I., Filip M., Muste S. Improving Jelly Nutrient Profile with Bioactive Compounds from Pine (*Pinus sylvestris* L.) Extracts // *Forests*. 2025. Vol. 16. Article No. 11. Total pages 22. Pp. 1–22. DOI: 10.3390/f16010011
50. Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year // *Silva Fennica*, 2007, Vol. 41, Is. 2, Pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298
51. Zar J. H. Biostatistical Analysis: Fifth Edition. Edinburg Gate: Pearson New International edition – Pearson Education Limited, 2014. 756 p.

© Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П.,
Метелкин Н. А., Шайфлер И. А., 2025

ОБЩАЯ СХЕМА ЭКЗОГЕННЫХ СУКЦЕССИЙ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЯКУТСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)*

А. П. Исаев¹, Л. П. Габышева¹, К. В. Алексеев¹, А. А. Слепцов²

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН

²Северо-Восточный Федеральный университет им. М. К. Аммосова

Российская Федерация, 677980, г. Якутск, просп. Ленина, 41

E-mail: llp77@yandex.ru

Аннотация. В настоящей статье приведены некоторые результаты исследования флоры и растительности разновозрастных гарей и вырубок в Центральной Якутии, возникших на месте формирующихся на древнем песчаном аллювии сосновых лесов. Выявлены общие закономерности сукцессионного развития растительных сообществ после пожаров высокой интенсивности, лесозаготовок и иных катастрофических воздействий, вызвавших гибель соснового древостоя. Установлено, что возобновление под пологом сосновых лесов региона протекает в целом неудовлетворительно. Лимитирующим лесовосстановительный процесс фактором в сосновом биогеоценозе является жесткий водный режим и обусловленная этим чрезвычайно острая корневая конкуренция с материнским древостоем, подлеском и напочвенным покровом. В то же время в процессе формирования растительного покрова сосновых вырубок и гарей в условиях Центральной Якутии доминирует позитивный сценарий постантропогенного лесообразовательного процесса. Во временном ряду сукцессионного развития растительности на сосновых гарях и рубках выделяются следующие стадии: травяная стадия (включает этапы открытого сообщества растений-эксплерентов и закрытого сообщества растений-патентов; кустарниковая стадия; стадия сосновой чащи (молодняк); стадия соснового жердняка (средневозрастный лес). Последующие стадии лесообразовательного процесса идут на фоне сформировавшегося набора основных диагностических признаков исходного типа соснового леса. Негативный сценарий развития постантропогенных сообществ на древнем песчаном аллювии в большинстве случаев связан с возможной активизацией эоловых процессов. Деструктивная трансформация растительности на месте сосновых лесов на древнем песчаном аллювии преимущественно связана с возможной активизацией эоловых процессов. При этом развиваются как близкие к исходному типу леса сосняки, так и псаммофитная растительность на тукулах. В результате исследований реконструирована принципиальная схема сукцессий растительного покрова после гибели сосновых древостоев, выделены стадии лесовозобновления, установлены временные рамки развития растительности сообществ.

Ключевые слова: Центральная якутская низменность, Якутия, эоловый ландшафт, сосна обыкновенная, сосновый лес, экзогенная сукцессия на гарях и рубках, схема сукцессий.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 32–40

GENERAL SCHEME OF EXOGENOUS SUCCESSIONS OF PINE FORESTS IN CENTRAL YAKUTIAN LOWLAND (EASTERN SIBERIA)

A. P. Isaev¹, L. P. Gabysheva¹, K. V. Alekseev¹, A. A. Sleptsov²

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS

²North-Eastern Federal University in Yakutsk

41, Lenin ave., Yakutsk, 677980, Russian Federation

E-mail: llp77@yandex.ru

Annotation. This article presents some results of the study of flora and vegetation of different-aged burnt areas and clearings in Central Yakutia that arose on the site of pine forests forming on ancient sandy alluvium. General patterns

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проектам «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование (FWRS-2021-0023; № AAAA-A21-121012190038-0) и с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (№ 13. ЦКП.21.0016).

«Причинно-следственные основы динамики почвенного покрова и наземных экосистем криолитозоны на территории распространения легких пород в Центральной Якутии для разработки фундаментальных основ охраны квазиравновесных криоксерогенных территорий», AAAA-A21-121012190036-6.

of succession of plant communities after catastrophic impacts that caused the death of pine stands are revealed. It has been established that regeneration under the forests canopy is unsatisfactory. The limiting factor for forest restoration in the biogeocenosis is the strict water regime and the resulting extremely root competition with the parent stand, undergrowth and grass cover. At the same time, in the process of formation of the vegetation cover of clearings and burnt areas in the Central Yakutia, a positive scenario of the anthropogenic forest formation process dominates. In the time series of successional development of vegetation in pine burnt areas and clearings, the following stages are distinguished: grass (includes the open and closed grass communities); shrub; pine thicket; pine pole stages. Subsequent stages of the forest formation process occur against the background of a formed set of basic diagnostic features of the original forest type. A negative scenario for the development of anthropogenic communities on sandy alluvium is associated with activation of Aeolian processes. In this case, both pine forests close to the original type of forest and psammophytic vegetation, and sandy wastelands, can develop. Because of the research, the basic scheme was reconstructed successions of vegetation cover after the death of pine stands, stages of reforestation are identified, and time frames for the development of vegetation communities are established.

Keywords: Central Yakutia lowland, Yakutia, Aeolian landscape, Scots pine, pine forest, exogenous succession after forest fire and logging, scheme of succession of vegetation.

ВВЕДЕНИЕ

Среднетаежные леса Центральной Якутии сформированы в своеобразных природно-климатических условиях, не характерных ни одному району Якутии, так и всей бореальной зоны земного шара. Они развиваются в условиях резкой континентальности климата, сплошного распространения многолетней мерзлоты [19] и высокой частоты лесных пожаров [1; 3; 15].

Особенностью лесов Центральной Якутии является господство светлехвойной тайги из лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi*) на Лено-Амгинском междуречье и лиственницы Гмелина (*L. gmelinii*) на Лено-Вилуйском междуречье с заметным участием сосны обыкновенной. Лиственничные леса занимают 87 % лесопокрытой площади. На долю сосновых лесов приходится около 8 % покрытой лесом площади. Роль лиственных пород в лесном покрове низка.

В Центральной Якутии при достаточном количестве сохраненного подроста предварительных генераций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) на вырубках, массовом поселении самосева на вырубках и гарях успешность лесовосстановления в большинстве случаев не вызывает сомнения. Даже редко проявляющееся в сосновых лесах критическое изменение гидроклиматических условий, чрезмерное развитие злаков и разнотравья зачастую не ведет к изменению генерального направления и хода лесовозобновительного процесса. Лишь при длительном отсутствии урожая семян, недостатке семенных деревьев, необеспеченности налета семян, массовом поражении последних энтомофитными вредителями, активизации эоловых процессов и иного негативного воздействия факторов внешней среды восстановление сосновых лесов может стать проблематичным вплоть до кардинального срыва лесовозобновительного процесса. При достаточном количестве самосева сукцессионное развитие растительности протекает чаще всего без смены пород. Образующийся березовый (*Betula platyphylla*) с участием ольховника (*Duschekia fruticosa*), ивы (*Salix* s.l.), шиповника (*Rosa acicularis*), спиреи (*Spiraea media*) полог довольно быстро уступает позиции более конкурентоспособным светлехвойным древесным породам. Устойчивый хотя бы одно поколение березовый, реже осиновый (*Populus tremula*) древостой на месте бывших сосняков формируется

редко. Таким образом, в большинстве случаев можно говорить об успешности постантропогенного лесовозобновительного процесса в сосняках Центральной Якутии.

Деструктивная трансформация растительности на месте сосновых лесов на древнем песчаном аллювии преимущественно связана с возможной активизацией эоловых процессов. При этом могут развиваться как близкие к исходному типу леса сосняки, так и псаммофитная растительность, а нередко и песчаные пустоши. Такая трансформация растительности чаще встречается после крупных пожаров [4], на вырубках наблюдается реже, что связано с обычно небольшими размерами последних и сохранностью на них части растительности, предотвращающей ветровую эрозию. К тому же лесозаготовки в районах, где наиболее развиты эоловые процессы (северо-западная часть Центральной Якутской низменности), проводятся в незначительных объемах.

При этом направление и ход лесовозобновительного процесса на любом этапе сукцессионного процесса может быть неоднократно прерван лесными пожарами [11; 15; 20 и т. д.].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Использованы результаты многолетних исследований лесного покрова, лесовозобновления сосновых лесов Центральной Якутии. Объектом исследований явились сосняки, гари, вырубки в них. Программа работ включала обследование лесного покрова классическими методами лесоводственно-геоботанических исследований по методике В. Н. Сукачева и С. В. Зонна [18]. Характеристика лесовозобновления проводилась по А. В. Побединскому [16].

Динамика растительного покрова изучалась непосредственными наблюдениями за ходом смен на свежих лесосеках и гарях, а также сравнительным анализом сообществ, составляющих пространственно-временные экологические и фитоценотические ряды [5]. При выявлении флористического состава использованы разные определители, названия видов даны по Определителю высших растений Якутии [12]. Названия описываемых вырубок и гарей давались по типам леса, в котором произведена рубка или прошел пожар,

давность рубки или пожара. Всего обследовано и описано более 120 нарушенных сосновых сообществ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сосна в Центральной Якутии образует чистые древостои или встречается в примеси в лиственничных древостоях. Чистые сосновые леса сформированы на хорошо прогреваемых вершинах и склонах дюнообразных песчаных увалов надпойменных террас в долине крупных рек Лены и Вилюя и их притоков, подстилаемых древнеаллювиальными песками. Сосновые леса Центральной Якутии всегда низкосомкнуты, деревья далеко отстоят друг от друга, лесные массивы не захламлены, кустарники чаще отсутствуют или малочисленны, не образуют самостоятельного яруса. Высота сосны небольшая, максимально достигает 15–17 м [8].

В сухих условиях произрастания, занимаемых сосняками толокнянково-лишайниковыми, в качестве доминантов травяно-кустарничкового покрова выступают толокнянка (*Arctostaphylos uva-ursi*) с сопутствующим ксерофитным разнотравьем: прострел узколистный (*Pulsatilla angustifolia*), кошачья лапка двудомная (*Antennaria dioica*), козелец лучистый (*Scorzonera radiata*), камнеломка гребенчато-реснитчатая (*Saxifraga bronchialis*) и ксеромезофитами: лимнас Стеллера (*Limnas stelleri*), шикша черная (*Empetrum nigrum*), вика мышиная – (*Vicia cracca*) и др. Дополняются они многовидовым лишайниковым покровом, в котором основную роль играют *Cladonia arbuscula*, *C. stellaris*, *C. rangiferina*, *Flavocetraria cucullata*, *F. laevigata*, *Cladonia amaurocraea*. Из мхов здесь обычны *Polytrichum strictum*, *P. piliferum*. Следует отметить, что повсеместно распространенные сосняки толокнянковые и мертвопокровные скорее всего представляют постпирогенный и антропогенный варианты сосняка толокнянково-лишайникового. Лишайниковый покров в них отсутствует в результате воздействия огня, реже – антропогенных нарушений. Не является по той же причине самостоятельным типом леса также сосняк твердоосочковый, формируемый в условиях интенсивного выпаса скота.

В средневлажных условиях произрастания сосна обычно уступает позиции лиственнице, поэтому характерный для других менее аридных территорий Якутии сосняк брусничный встречается редко. Главный доминант этого типа леса брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), к которой примешивается в той или иной мере толокнянка. Сопутствующими видами в лесах, переходных от сухих к средневлажным, преимущественно являются: прострел узколистный, хвощ камышовый (*Equisetum scirpoides*), вика мышиная, шикша черная. Лишайники менее обильны, почти всегда присутствуют виды из родов *Peltigera*, *Cladonia*. Моховой покров развит неодинаково, видовой состав разнообразен. Мхи относятся преимущественно к родам *Polytrichum*, *Hylocomium*, *Pleurozium*, *Dicranum* и т. п.

Из других типов сосновых лесов в Центральной Якутии можно выделить сосняк шикшево-толокнянковый. Он встречается небольшими масси-

вами на древних песчаных аллювиальных ландшафтах южной части Центрально-Якутской низменности, в том числе у подножия тукулана (песчаного увала) Кысыл Элэсин в устье р. Буотама на территории национального парка «Ленские Столбы». Более влажный ряд типов сосняков в Центральной Якутии отсутствует.

Возобновление под пологом сосновых лесов региона протекает неудовлетворительно. Лимитирующим лесовосстановительный процесс фактором внутри лесного биогеоценоза выступает жесткий водный режим и обусловленная этим чрезвычайно острая корневая конкуренция с материнским древостоем, подлеском и напочвенным покровом. Поэтому лесовосстановление в нарушенных сосняках Центральной Якутии провоцируются лишь лесными пожарами. В лесах криолитозоны естественный процесс разложения опада происходит очень медленно, что ведет к накоплению горючего материала [17] и, соответственно, приводит к лесным пожарам.

Изучение разнообразия растительного покрова, сформированного на разновозрастных вырубках и гарях в сосняках, позволяет выделить основные закономерности динамики лесной растительности в наиболее распространенных типах леса и построить логические динамические схемы по аналогии с результатами исследований лиственничников [8].

Анализ результатов лесоводственно-геоботанических описаний более 120 разновозрастных гарей и вырубок в сосновых лесах Центральной Якутии позволил выявить общие закономерности формирования соснового леса после пожаров и иных катастрофических воздействий, вызвавших гибель древостоя.

В табл. 1 приведены некоторые количественные показатели формирующихся на гарях сосняка толокнянкового древостоев. Сукцессия обычно начинается с нулевых показателей численности самосева (рис. 1). В последующем количество подроста возрастает и доходит до максимума к 21–40 годам. Начало процесса самоизреживания сосновых молодняков в условиях исследуемого района связано со сроком давности пожара 40–60 (80) лет, когда численность деревьев падает до 13,6 тыс. экз./га. В припевающихся насаждениях количество стволов сосны практически достигает своего оптимума. В зависимости от локальных условий среды это – 1,0–3,0 тыс. экз./га.

Таким образом, естественное послепожарное возобновление сосны при благоприятных условиях проходит вполне успешно, что связано с биологическими особенностями самой древесной породы: она неприхотлива к почвенным условиям, растет на сухих экотопах, и, благодаря поверхностной корневой системе использует ресурсы влаги и минерального питания с большой площади.

На рис. 2 приведен хроноклин распределения растений кустарничкового, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов растительности.

Видно, что в травяном покрове на смену пионерным видам приходят преимущественно корневищные злаки и виды разнотравья, в конце – типичные лесные виды.

Таблица

Количественная и качественная динамика самосева сосны на разновозрастных гарях в Центральной Якутии, тыс.экз./га

Характеристика самосева	Давность пожара, лет					
	1–5	5–10	11–20	21–40	41–80	> 80
Среднее количество, тыс. экз./га	0,0 ± 0,0	6,1 ± 1,7	9,0 ± 3,3	31,6 ± 14,7	13,6 ± 4,2	2,6 ± 0,4
Максимальное количество, тыс. экз./га	0,1	15,0	21,0	110,0	37,5	3,9
Минимальное количество, тыс. экз./га	0,0	0,0	1,1	0,3	1,0	1,4

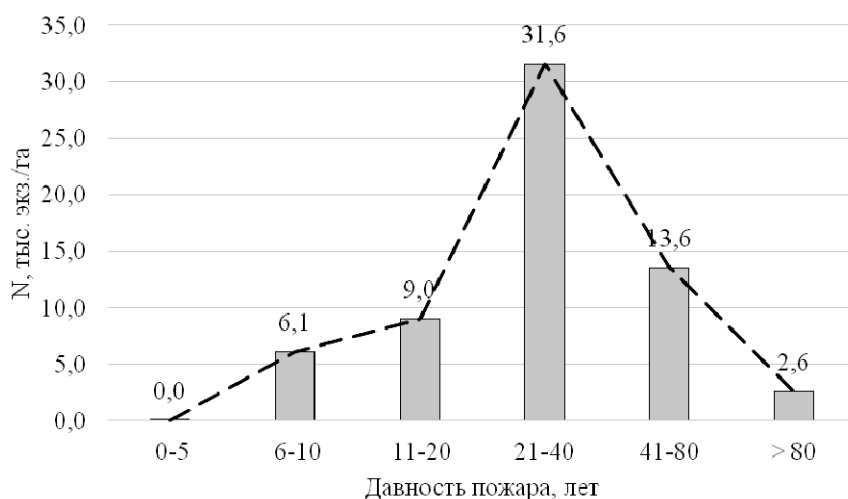


Рис. 1. Динамика численности самосева сосны обыкновенной (N) на гарях, возникших после устойчивых лесных пожаров в Центральной Якутии

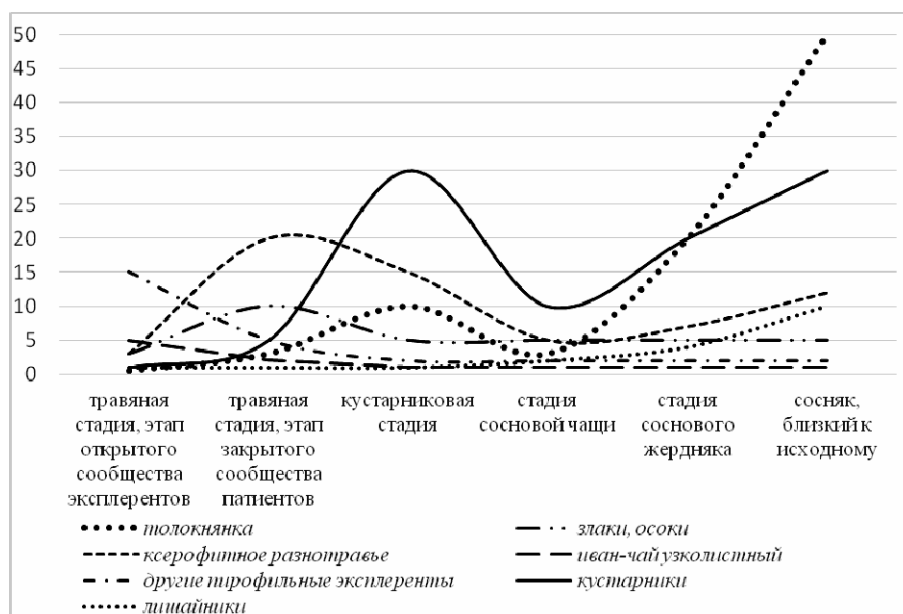


Рис. 2. Динамика проективного покрытия основных экологических групп растений (%) на гарях в сосновых лесах Центральной Якутии

В мохово-лишайниковом покрове на ранних стадиях сукцессии господствуют пионерные виды мхов *Marchantia polymorpha*, *Funaria hygrometrica*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum juniperinum* и др. Нишу лишайников в условиях отсутствия огневого фактора занимают в основном виды родов *Cladonia*, *Flavocetraria*, *Peltigera*.

Временной ряд сукцессионного развития растительности на сосновых гарях и вырубках можно разбить на следующие стадии: 1а – травяная стадия, этап открытого сообщества эксплерентов; 1б – травяная стадия, этап закрытого сообщества пациентов; 2 – кустарниковая стадия; 3 – стадия сосновой чащи; 4 – стадия соснового жердняка.

1. Начальной стадией постантропогенного воздействия при условии гибели господствующего древостоя является травяной фитоценоз, формирующийся по луговому или лугово-степному типу на фоне изменения гидроклиматических, эдафических и даже мерзлотных условий. Сначала такой фитоценоз представляет собой *открытые растительные группировки* растений-эксплерентов: иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium*), хохлатка сибирская (*Corydalis sibirica*), чистотел большой (*Chelidonium majus*), скерда кровельная (*Crepis tectorum*), сосюрея горькая (*Saussurea amara*), молокан сибирский (*Lactuca sibirica*), льнянка остролопастная (*Linaria acutiloba*) и т. д., из мхов – *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum juniperinum*, *Marchantia polymorpha* и др. и некоторых лесных и лугово-лесных видов – толочнянка, вика мышиная, полынь пижмолистная

(*Artemisia tanacetifolia*) и пр. В это время экосистема открыта для внедрения новых видов растений, перестраивается весь комплекс фитоценотических связей. По мере заполнения жизненного пространства сообщество закрывается для внедрения новых видов, из него вытесняются виды, обладающие низкой способностью удерживать занятые ранее позиции (хохлатка сибирская, чистотел большой, иван-чай). Растительный покров приобретает более или менее закрытый характер, формируются относительно стойкие цено-тические связи между отдельными его компонентами. Этот период можно охарактеризовать как *закрытое травяное сообщество* трав-пациентов, среди которых доминируют ксерофильные и мезофильные злаки: пырей ползучий (*Elytrigia repens*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), кострец сибирский (*Bromopsis inermis*) и луговое разнотравье.

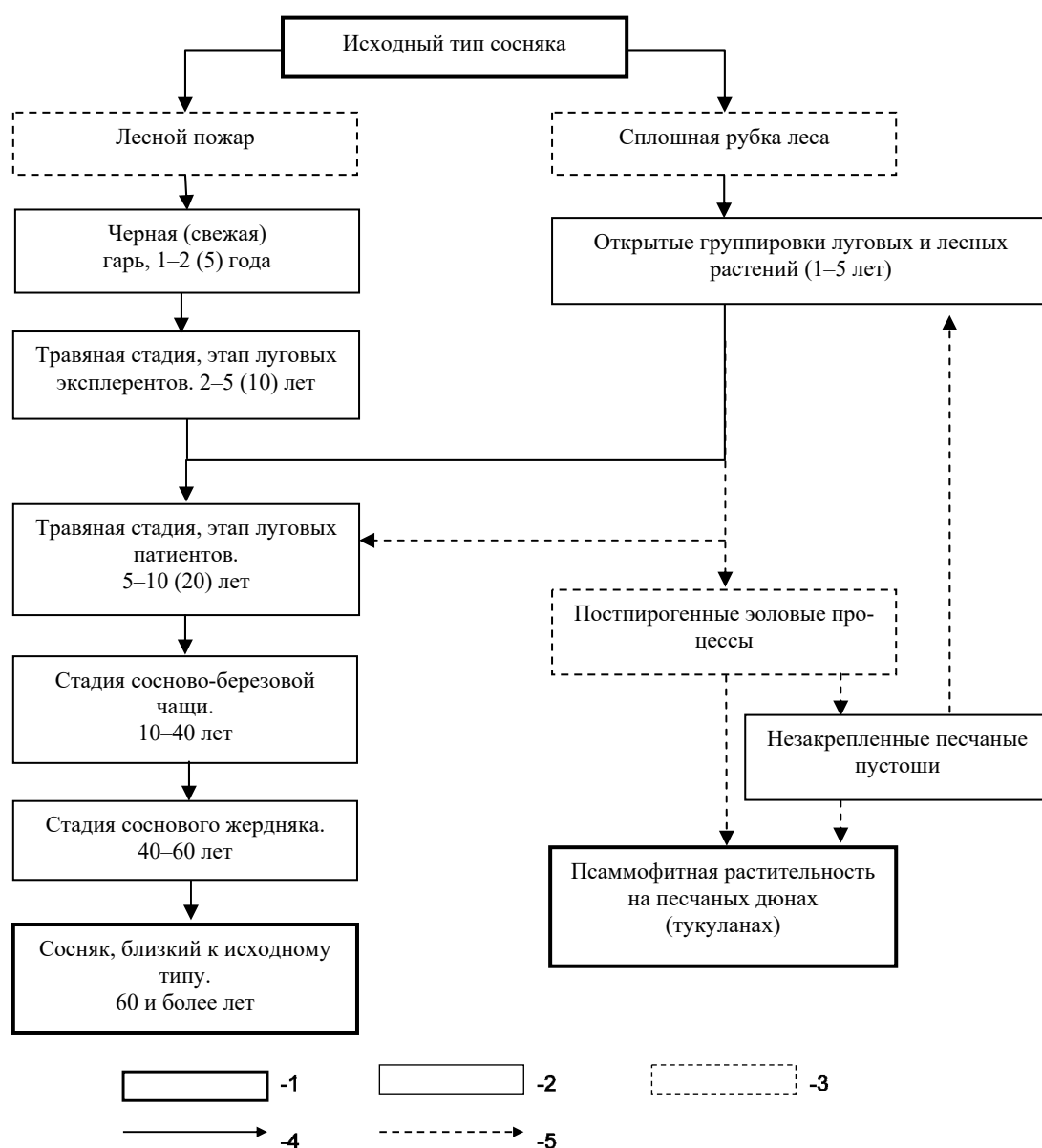


Рис. 3. Принципиальная схема изменения растительного покрова на гарях и вырубках в сосняках Центральной Якутии, формирующихся на древнем песчаном аллювии:

1 – исходный тип леса и производные экосистемы; 2 – стадии сукцессионного развития; 3 – основные факторы, влияющие на ход сукцессий; 4 – наиболее типичные направления сукцессий; 5 – возможные направления сукцессий

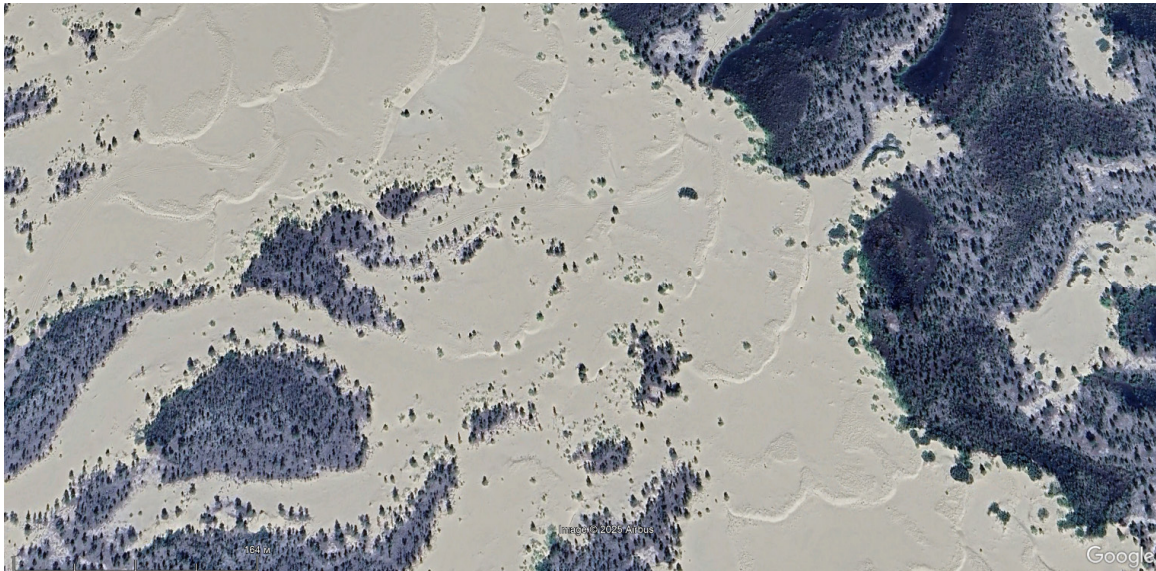


Рис. 4. Эоловые формы рельефа тукуланов в низовьях р. Вилуй. Google Earth Pro



Рис. 5. Сосняки на тукулане, расположенного на правом берегу р. Вилуй, в 130 км к югу от с. Кысыл-Сыр Вилуйского района

2. Кустарниковая стадия – по-существу уже лесовозобновившийся березой ценоз, который можно квалифицировать как покрытую лесом площадь. В это время светлохвойные деревья, несмотря на присутствие в фитоценозе еще не образуют сомкнутого полога, более или менее сомкнутый ярус образуют лиственные породы (береза, реже осина) и кустарники. Растительность начинает приобретать лесной облик.

3. Стадия сосновой чащи (иногда с примесью других древесных пород) – лесовозобновившаяся по основной породе вырубка или гарь. Сосна плотно смыкает кроны, береза постепенно вытесняется сосной, проективное покрытие травяного покрова сильно падает, в отдельных случаях элиминируется, активно

происходит дифференциация стволов по жизненности и высоте. Часто формируются перегущенные сосновые молодняки. На этой стадии активно начинается процесс изреживания древостоев.

4. Стадия соснового жердняка – этап формирования типа леса, близкого к исходному. Продолжается процесс дифференциации стволов, усиливается отпад деревьев, численность стволов падает. Состав напочвенного покрова постепенно приближается к составу исходного типа леса.

Последующие стадии лесообразовательного процесса идут уже на фоне сформировавшегося набора основных диагностических признаков исходного типа соснового леса. Под воздействием периодически

повторяющихся лесных пожаров малой интенсивности формируются в различной степени разновозрастные древостои.

Схема сукцессий в сосняках толокнянковой группы, доминирующих среди типов сосновых лесов среднетаежной подзоны Якутии, в общих чертах нами представляется в виде схемы, приведенной на рис. 3. Во многом наши наблюдения перекликаются с результатом подобных исследований с других северных территорий [6; 9 и т. д.].

Особняком стоит проблема обезлесивания огромных пространств, занятых песчаными отложениями, что широко распространены на Центральноякутской низменности [2; 10; 13]. Здесь посреди лесного покрова встречаются безлесные ландшафты, называемые тукуланами (см. рис. 4, 5).

Равнинный рельеф способствует беспрепятственному разгону ветров, перевевающих пески и активизирующих эоловые процессы. Песчаные барханы перемежаются с лишенными растительности котловинами выдувания. Нередкие в лесной части территории пожары способствуют локальному снижению лесистости и, удаляя подстилку и живой напочвенный покров, готовят плацдарм для расширения площади эоловых песчаных ландшафтов. Тем более, что территория горельников зачастую теряет способность противостоять ветровой и водной эрозии, в связи с чем ход лесообразовательного процесса в сосняках может быть прерван. Следует считать, что современный эоловый ландшафт во многом является итогом пирогенной активности в прошлом, поэтому этот фактор учтен нами в качестве возможных трендов экзогенной динамики растительного покрова в сосняках Центральной Якутии. Увеличение площади гарей в лесах, развивающихся на легких песчаных почвах, пожарная обстановка, сухие погодные условия в Центральноякутской низменности могут послужить факторами образования новых современных тукуланов или расширения площадей уже существующих.

ВЫВОДЫ

Изучение особенностей флоры и структуры растительности разновозрастных гарей и вырубок в сосновых лесах Центральной Якутии позволило выявить общие закономерности формирования растительных сообществ после катастрофических воздействий, вызвавших гибель соснового древостоя. В результате исследований составлена принципиальная схема изменения растительного покрова на гарях и рубках, выделены сукцессионные стадии лесовозобновления, установлены их временные рамки. Выявлено, что на сосновых рубках и гарях Центральной Якутии доминирует позитивный сценарий постантропогенного лесообразовательного процесса. Негативный сценарий развития на древнем песчаном аллювии в большинстве случаев связан с возможной активизацией эоловых процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Васильев М. С., Тимофеев М. А., Сергин Д. К. Горимость лесов в Якутии за период 1958–2022 гг. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-

Востока России : материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 30-летию Академии наук Республики Саха (Якутия) и 40-летию геологоразведочного факультета СВФУ им. М. К. Аммосова, Якутск, 21–24 марта 2023 года. Якутск : Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, 2023. С. 422–427.

2. Габышева Л. П. Послепожарное лесовозобновление сосняков, прилегающих к тукуланам Лено-Вилуйского междуречья // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 3. С. 477–486. DOI 10.31242/2618-9712-2023-28-3-477-486

3. Габышева Л. П., Протопопова В. В. Характеристика горимости лесов на территории Республики Саха (Якутия) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 5(85). С. 87–91.

4. Десяткин Р. В., Николаева М. Х., Иванова А. З. и др. Влияние крупных лесных пожаров 2021 года на растительность и почвы на территории распространения легких почвообразующих пород Центральной Якутии // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2024. № 118. С. 231–275. DOI 10.19047/0136-1694-2024-118-231-275

5. Ибрагимов А. К., Полуяхтов К. К. Динамика лесной растительности и методы ее изучения. Горький : Изд-во Горьковского гос. ун-та, 1982. 82 с.

6. Иванова Г. А., Иванов В. А., Ковалева Н. М. и др. Сукцессия растительности после высокоинтенсивного пожара в сосняке лишайниковом // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 1. С. 61–71. DOI 10.15372/SEJ20170107

7. Исаев А. П. Устойчивость лесов криолитозоны к антропогенным факторам // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 41–43.

8. Лес и вечная мерзлота : особенности состава и структуры лесов мерзлотного региона, проблемы рационального ведения хозяйства и охраны. Якутск : Якутский госуниверситет, 2000. 190 с.

9. Лоботросова С. А. Сукцессии растительного покрова эоловых форм рельефа в северной тайге Западной Сибири (на примере бассейна реки Надым) : специальность 03.00.16 : дисс. ... кандидата биологических наук. 2020. 193 с.

10. Лыткин В. М., Шапошников Г. И., Васильева А. Н. и др. Морфология и возраст современных дюнных образований Центральной Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы XII Всеросс. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, Якутск, 23–25 марта 2022 года. Якутск : Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, 2022. С. 422–423. DOI 10.52994/9785751332846-2022-88

11. Машкова Е. А., Лаврусевич А. А., Артюхин В. В. Влияние природных пожаров на деградацию криолитозоны некоторых районов Якутии // Потаповские чтения-2024 : Сборник материалов IX Ежегодной Всероссийской науч.-практ. конф., посвящ. памяти доктора технических наук, профессора Александра

Дмитриевича Потапова, г. Москва, 16–17 мая 2024 года. Москва : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2024. С. 121–129. DOI 10.22227/978-5-7264-3515-2.2024.121-129

12. Определитель высших растений Якутии. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2020. Новосибирск : Наука, 2020. 896 с.

13. Павлова М. Р., Лыткин В. М., Васильева А. Н. и др. Строение и возраст формирования покровных песчаных отложений высоких террас Р. Вилой // Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек : Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти А. А. Свиточа, Волгоград, Астрахань, 18–24 сентября 2023 года. Волгоград–Астрахань : Перо, 2023. С. 144–147.

14. Панов А. В. Структура и динамика органического вещества на вырубках в сосняках лишайниковых среднетаежной подзоны Приенисейской Сибири : специальность 03.02.08 «Экология (по отраслям)» : дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2010. 143 с.

15. Петров М. И., Федоров А. Н. Влияние климатических условий на лесные пожары в Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 2. С. 248–260. DOI 10.31242/2618-9712-2023-28-2-248-260

16. Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов (методические указания). Красноярск : Кн. изд-во, 1962. 64 с.

17. Протопопова В. В., Габышева Л. П. Пирологическая характеристика растительности в лесах Центральной Якутии и ее динамика в постпожарный период // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 25. № 3. С. 80–86. DOI 10.31242/2618-9712-2018-25-3-80-86

18. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

19. Федоров А. Н. Эволюция и динамика мерзлотных ландшафтов Якутии : специальность 25.00.08 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение» : дис. ... д-а географ. наук. Якутск, 2020. 302 с.

20. Narita D., Gavrilyeva T., Isaev A. Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia : A local perspective for a global problem // Polar Science. 2021. Vol. 27. P. 100573. DOI 10.1016/j.polar.2020.100573

REFERENCES

1. Vasil'ev M. S., Timofeev M. A., Sergin D. K. Gorimost' lesov v Yakutii za period 1958–2022 gg. // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii : Materialy XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 30-letiyu Akademii nauk Respubliki Saha (Yakutiya) i 40-letiyu geologorazvedochnogo fakul'teta SVFU im. M. K. Ammosova, Yakutsk, 21–24 marta 2023 goda. Yakutsk : Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet imeni M.K. Ammosova, 2023. S. 422–427.

2. Gabysheva L. P. Poslepozharное лесовозобновление сосняков, прилегающих к тукланам Лено-Вилуйского междуречья // Природные ресурсы Арктики и

Субарктики. 2023. Т. 28. № 3. С. 477–486. DOI 10.31242/2618-9712-2023-28-3-477-486

3. Gabysheva L. P., Protopopova V. V. Harakteristika gorimosti lesov na territorii Respubliki Saha (Yakutiya) // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2018. T. 20. № 5(85). S. 87–91.

4. Desyatkin R. V., Nikolaeva M. H., Ivanova A. Z. i dr. Vliyanie krupnyh lesnyh pozharov 2021 goda na rastitel'nost' i pochvy na territorii rasprostraneniya legkih pochvoobrazuyushchih porod Central'noj Yakutii // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2024. № 118. S. 231–275. DOI 10.19047/0136-1694-2024-118-231-275

5. Ibragimov A. K., Poluyahtov K. K. Dinamika lesnoj rastitel'nosti i metody ee izucheniya. Gor'kij : Izd-vo Gor'kovskogo gos. universiteta, 1982. 82 s.

6. Ivanova G. A., Ivanov V. A., Kovaleva N. M. i dr. Sukcessiya rastitel'nosti posle vysokointensivnogo pozhara v sosnyake lishajnikovom // Sibirskij ekologicheskij zhurnal. 2017. T. 24. № 1. S. 61–71. DOI 10.15372/SEJ20170107

7. Isaev A. P. Ustojchivost' lesov kriolitozony k antropogennym faktoram // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2012. № 11. S. 41–43.

8. Les i vechnaya merzlota : Osobennosti sostava i struktury lesov merzlotnogo regiona, problemy racional'nogo vedeniya hoz'yajstva i ohrany. Yakutsk : Yakutskij gos-universitet, 2000. 190 s.

9. Lobotrosova S. A. Sukcessii rastitel'nogo pokrova eolovyh form rel'efa v severnoj tajge Zapadnoj Sibiri (na primere bassejna reki Nadym) : special'nost' 03.00.16 : dis. ... kandidata biologicheskikh nauk. 2020. 193 s.

10. Lytkin V. M., Shaposhnikov G. I., Vasil'eva A. N. i dr. Morfologiya i vozrast sovremennyh dyunnyh obrazovaniy Central'noj Yakutii // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii : Mater. XII Vseross. nauchno-praktich. konferencii, posvyashchennoj 65-letiyu Instituta geologii almaza i blagorodnyh metallov Sibirskogo otdeleniya RAN, Yakutsk, 23–25 marta 2022 goda. Yakutsk : Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet imeni M. K. Ammosova, 2022. S. 422–423. DOI 10.52994/9785751332846-2022-88

11. Mashkova E. A., Lavrusevich A. A., Artyuhin V. V. Vliyanie prirodnyh pozharov na degradaciyu kriolitozony nekotoryh rajonov Yakutii // Potapovskie chteniya–2024 : Sbornik materialov IX ezhegodnoj Vserossijskoj nauchno-prakt. konferencii, posvyashchennoj pamyati doktora tekhnicheskikh nauk, professora Aleksandra Dmitrievicha Potapova, g. Moskva, 16–17 maya 2024 goda. Moskva : Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, 2024. S. 121–129. DOI 10.22227/978-5-7264-3515-2.2024.121-129

12. Opredelitel' vysshih rastenij Yakutii. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2020. Новосибирск : Наука, 2020. 896 с.

13. Pavlova M. R., Lytkin V. M., Vasil'eva A. N. i dr. Stroenie i vozrast formirovaniya pokrovnyh peschanyh otlozhenij vysokih terras R. Vilyuy // Kaspий v plejstocene i golocene: evolyuciya prirodnoj sredy i chelovek : Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj pamyati A. A. Svitoch, Volgograd, Astrahan', 18–24 sentyabrya 2023 goda. Volgograd–Astrahan' : Pero, 2023. S. 144–147.

14. Panov A. V. Struktura i dinamika organicheskogo veshchestva na vyрубках v sosnyakh lishajnikovyyh srednetaezhnoy podzony Prienisejskoj Sibiri : special'nost' 03.02.08 "Ekologiya (po otraslyam)" : diss. ... kandidata biologicheskikh nauk. Krasnoyarsk, 2010. 143 s.

15. Petrov M. I., Fedorov A. N. Vliyanie klimaticheskikh uslovij na lesnye pozhary v Central'noj Yakutii // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. 2023. T. 28. № 2. S. 248–260. DOI 10.31242/2618-9712-2023-28-2-248-260

16. Pobedinskij A. V. Izuchenie lesovosstanovitel'nyh processov (metodicheskie ukazaniya). Krasnoyarsk : Kn. izd-vo, 1962. 64 s.

17. Protopopova V. V., Gabysheva L. P. Pirologicheskaya harakteristika rastitel'nosti v lesah Central'noj Yakutii i ee dinamika v postpozharnyj period // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. 2018. T. 25. № 3. S. 80–86. DOI 10.31242/2618-9712-2018-25-3-80-86

18. Sukachev V. N., Zonn S. V. Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa. M. : Izd-vo AN SSSR, 1961. 144 s.

19. Fedorov A. N. Evolyuciya i dinamika merzlotnyh landshaftov Yakutii : special'nost' 25.00.08 "Inzhenernaya geologiya, merzlotovedenie i gruntovedenie" : diss. ... doktora geograficheskikh nauk. Yakutsk, 2020. 302 s.

20. Narita D., Gavrilyeva T., Isaev A. Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia : A local perspective for a global problem // Polar Science. 2021. Vol. 27. P. 100573. DOI 10.1016/j.polar.2020.100573

© Исаев А. П., Габышева Л. П.,
Алексеев К. В., Слепцов А. А., 2025

Поступила в редакцию 15.08.2025
Принята к печати 02.12.2025

ПОПУЛЯЦИОННО-ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА *VACCINIUM MYRTILLUS* L. В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**Н. Ю. Егорова**

Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова
Российская Федерация, 610000, г. Киров, ул. Преображенская, 79
Вятский государственный агротехнологический университет
Российская Федерация, 610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133

Аннотация. Представлены результаты изучения онтогенетической структуры и демографических параметров ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L. в различных эколого-ценотических условиях южной тайги в пределах Кировской области. Исследованы в природных биотопах 12 ценопопуляций *V. myrtillus*, относящиеся к различным типам лесных сообществ (ельники, сосняки и березняки кустарничково-зеленомошные). Установлено, что онтогенетические спектры исследуемых ценопопуляций *V. myrtillus* в трех анализируемых типах лесорастительных условий характеризуются сходными показателями – все они являются одновершинными, левосторонними с максимумом на виргинильных особях. Доли участия прегенеративной группы в изученных ценопопуляциях имеют близкие значения. Так, особи ювенильного онтогенетического состояния составляют от 5,6 до 6,8 %, имматурные – 13,8 % – и 13,9 % соответственно. Некоторые отличия отмечены в соотношении виргинильных особей: наиболее высокая доля их в ценопопуляциях, приуроченных к ельникам. Доля особей генеративной группы достигает наибольших значений в березняках кустарничково-зеленомошных – 36,5 %, меньше их в ельниках и сосняках – 29,6 % и 31,0 % соответственно. Для ценопопуляций *V. myrtillus* в ельниках и березняках свойственно преобладание зрелых генеративных особей (14,1 % и 18,1 % соответственно), в сосняках, напротив, доминируют старые генеративные растения (14,4 %). Доля растений постгенеративного периода составляет от 8,2 % до 17,2 %. Наиболее часто особи данной группы встречаются в ценопопуляциях, приуроченных к сосновым типам леса. Согласно классификации «дельта–омега», изученные ценопопуляции разделились на два типа: молодые и переходные. По индексу замещения все ценопопуляции являются перспективными. Установлены достоверные связи онтогенетических параметров ценопопуляций *V. myrtillus* с экологическими режимами фитоценозов. Доля старых генеративных и отмерших особей достоверно зависит от освещенности ($r = 0,99$), а субсенильных – от богатства почвы ($r = -0,99$).

Ключевые слова: черника обыкновенная, онтогенетический спектр, ценопопуляция, индекс замещения, индекс восстановления, Кировская область, южная тайга.

*Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 41–46***POPULATION AND DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF *VACCINIUM MYRTILLUS* L. IN VARIOUS TYPES OF BOREAL FORESTS OF THE TAIGA ZONE OF KIROV OBLAST****N. Yu. Egorova**

Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming
79, Preobrazhenskaya St., Kirov, 610000, Russian Federation
Vyatka State Agrotechnological University
133, Oktyabrsky Prospekt, Kirov, 610017, Russian Federation

Abstract. The results of studying the ontogenetic structure and demographic parameters of *Vaccinium myrtillus* L. coenopopulations in various ecological and cenotic conditions of the southern taiga within Kirov Oblast are presented. A total of 12 *V. myrtillus* coenopopulations belonging to different types of forest communities (spruce, pine and birch shrub-green moss forests) were studied in natural biotopes. It was found that the ontogenetic spectra of the studied *V. myrtillus* coenopopulations in three analyzed types of forest growth conditions are characterized by similar indicators. All of them are single-peaked, left-sided with a maximum on virginile individuals. The shares of the pregenerative group in the studied coenopopulations have close values. Thus, individuals of the juvenile ontogenetic state make up from 5.6 to 6.8 %, immature individuals make up from 13.8 % to 13.9 %, respectively. Some differences are noted in the ratio of virginal individuals: their highest proportion is in coenopopulations confined to spruce forests. The proportion of individuals of the generative group reaches the highest values (36.5 %) in dwarf shrub-green moss birch forests. It is less in spruce and pine forests (29.6 % and 31.0% respectively). For *V. myrtillus* coenopopulations

in spruce and birch forests, a predominance of mature generative individuals is characteristic (14.1 % and 18.1 %, respectively), in pine forests, on the contrary, old generative plants dominate (14.4 %). The proportion of post-generative plants ranges from 8.2 % to 17.2 %. Most often, individuals of this group are found in coenopopulations confined to pine forest types. According to the delta-omega classification, the studied coenopopulations were divided into two types: young and transitional. According to the substitution index, all coenopopulations are promising. Reliable relationships between the ontogenetic parameters of *V. myrtillus* coenopopulations and the ecological regimes of phytocenoses were established. The proportion of old generative and dead individuals reliably depends on illumination ($r = 0.99$), and subsenile ones depend on soil richness ($r = -0.99$).

Keywords: blueberry, ontogenetic spectrum, coenopopulation, substitution index, recovery index, Kirov Oblast, southern taiga.

ВВЕДЕНИЕ

Важной характеристикой ценопопуляций является онтогенетический спектр, который представляет собой результат внутривидового распределения особей по онтогенетическим состояниям. Определенное соотношение возрастных групп в ценопопуляциях даёт достаточно четкое представление об общем жизненном состоянии популяции, ее способности к самовоспроизведению и перспективах развития [1]. Наибольший интерес в этом плане вызывает изучение ценопопуляций видов дикорастущих ягодных растений, имеющих достаточно большой ареал. Такие исследования позволяют оценить устойчивость и способность вида к самоподдержанию в различных местообитаниях на протяжении всего ареала. Кроме того, данный подход является актуальным и для экологически ориентированного рационального использования и сохранения природных популяций наиболее ценных дикорастущих плодово-ягодных и лекарственных растений, в связи с интенсивными антропогенными трансформациями их природных местообитаний, а также в целях разработки системы мониторинга этих видов.

Одним из таких широко распространенных видов является *Vaccinium myrtillus* L. *Vaccinium myrtillus* – неотъемлемый константный элемент сообществ бореальных хвойных и смешанных лесных экосистем, играет высокую фитоценологическую роль в этих сообществах. Онтогенетическая структура вида ранее изучена в лесной зоне Европейской равнины Т. А. Полянской [2], В. В. Шутовым [3; 4]. Однако результаты, касающиеся комплексной оценки состояния популяций этого вида в различных типах лесорастительных условий южно-таежной подзоны тайги, отсутствуют. В связи с этим цель настоящего исследования – изучение структуры и состояния ценопопуляций *V. myrtillus* в различных эколого-ценотических условиях южной тайги в пределах Кировской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в период с 2017 по 2023 гг. в лесных фитоценозах в пределах Слободского, Куменского, Оричевского муниципальных районов Кировской области, которые в соответствии с приказом [5], относятся к южно-таежному району европейской части Российской Федерации таежной зоны. Изучены в природных условиях 12 ценопопуляций (далее ЦП) *V. myrtillus*, относящиеся к различным типам еловых, сосновых, березовых лесов: ельник

с примесью березы черничный, елово-березовый лес чернично-травяной, ельник с примесью пихты черничный, ельник зеленомошно-черничный, сосняк с примесью березы чернично-зеленомошный, сосняк с примесью березы зеленомошно-черничный, ельник кислично-черничный, ельник кислично-чернично-травяной, сосняк майниково-чернично-зеленомошный, сосново-еловый с примесью березы травяно-кислично-черничный лес, елово-березовый хвоецево-черничный лес.

При выделении онтогенетических состояний использована общепринятая периодизация онтогенеза растений [6]. Возрастные состояния *V. myrtillus* выделены согласно ранее опубликованным описаниям [7] на основе морфологических признаков надземных и подземных органов растений.

В работе проанализированы следующие показатели: индекс возрастности (Δ -дельта) [6], индекс восстановления (I_v), индекс замещения (I_z) [8; 9], индекс старения (I_c) [9], индекс эффективности (ω -омега) [10]. Тип ЦП определяли по классификации «дельта-омега» [10] на основе индексов возрастности (Δ) и эффективности (ω), а также согласно классификации на основе индекса замещения [11]. В качестве счетной единицы принято парциальное образование, рассматриваемое как аналог особи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В онтогенезе *V. myrtillus* выделены три периода (прегенеративный, генеративный и постгенеративный) и 9 онтогенетических состояний (ювенильное, имматурное, виргинильное; молодое, средневозрастное и старое генеративное; субсенильное, сенильное, отмирающее) (табл. 2), присутствие которых отмечено во всех исследуемых ценопопуляциях.

Распределение особей по возрастным группам представлено в виде базового спектра (рис. 1) и онтогенетических спектров (рис. 2). Базовый онтогенетический спектр характеризуется как неполночленный, одновершинный, левомодальный, с преобладанием виргинильных особей.

Составленный нами в результате изучения онтогенетической структуры ценопопуляций *V. myrtillus* базовый онтогенетический спектр согласуется с базовым спектром ценопопуляций черники обыкновенной в фитоценозах подтаежных смешанных лесов национального парка «Марий Чодра» [2].

Онтогенетические спектры исследованных ценопопуляций *V. myrtillus* также являются нормальными, неполночленными, что связано с отсутствием пропо-

стков, одновершинными, левостороннего типа (рис. 2). Ценопопуляции *V. myrtillus*, изученные в лесных фитоценозах на территории Южной Карелии [12], Полярного Урала [13], Западной Сибири [14], Пермского края [15] также отличает левосторонний тип онтогенетического спектра с абсолютным максимумом на группе особей в виргинильном [12; 14] или молодом генеративном состоянии [15]. Бимодальный тип спектра для ЦП *V. myrtillus* описал в условиях соснового криволесья Карпат И. В. Царик [16]. И. В. Лянгузова, Е. А. Мазная [17] определяют бимодальный онтогенетический спектр с максимумами на виргинильных и субсенильных парциальных кустах в северо-таежных лесах Кольского полуострова как характерный и в фоновом районе, и в условиях аэротехногенного загрязнения.

Проведенный нами анализ онтогенетических спектров показал, что в ценопопуляциях, относящихся к растительным сообществам ассоциации *Piceeta fruticuloso-hylocomiosa*, абсолютный максимум приходится на парциальные образования виргинильного (41,5 %) онтогенетического состояния. Значительна также доля участия имматурных растений – 13,9 %,

ювенильных особей несколько меньше – 6,8 %. В генеративной группе доминируют особи средневозрастного онтогенетического состояния (14,1 %), меньше молодых и старых генеративных растений – 7,1 % и 8,4 % соответственно.

Ценопопуляции *V. myrtillus*, изученные в сосняках кустарничково-зеленомошных, также характеризуются преобладанием виргинильных особей. Однако их участие в составе онтогенетического спектра значительно меньше, чем в ельниках кустарничково-зеленомошных и составляет 31,7 %. Доля генеративных особей достигает 31,0 % (молодые – 4,3 %; средневозрастные – 12,3; старовозрастные – 14,4 %), при этом здесь наблюдается доминирование старых генеративных растений по сравнению с ценопопуляциями в ельниках и березняках кустарничково-зеленомошных, где максимальное количество особей в генеративной группе приходится на средневозрастное онтогенетическое состояние. Постгенеративная онтогенетическая группа представлена в сосновых фитоценозах большим числом особей, чем в двух других типах растительных ассоциаций и составляет в среднем 17,2 %.

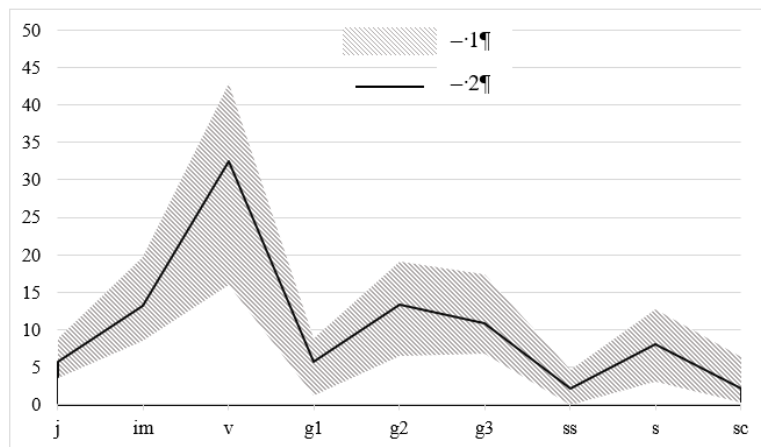


Рис. 1. Базовый онтогенетический спектр *Vaccinium myrtillus* L.:

1 – зона базового спектра; 2 – базовый спектр. По оси абсцисс – онтогенетические состояния особей; по оси ординат – доля парциальных образований отдельных онтогенетических состояний, % от общего числа

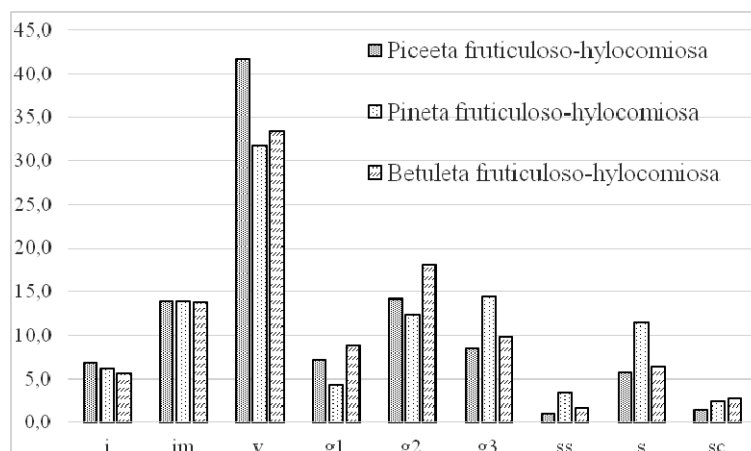


Рис. 2. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L. в различных типах растительных ассоциаций

По оси абсцисс – онтогенетические состояния особей; по оси ординат – доля парциальных образований отдельных онтогенетических состояний, % от общего числа

Преобладающей онтогенетической группой в ценопопуляциях приуроченных к растительным сообществам ассоциации *Betuleta fruticuloso-hylocomiosa* является прегенеративная группа (52,7 %), далее следует генеративная – 36,5 %. Максимальные значения онтогенетического спектра зафиксированы для виргинильных особей (33,4 %), субдоминируют средне-возрастные генеративные растения (18,1 %). Постгенеративная группа составляет чуть более 10 %, наиболее часто здесь встречаются сенильные особи – 6,4 %.

Важное значение для диагностики состояния ценопопуляций имеют индексы восстановления и замещения. Для всех исследуемых ценопопуляций индекс восстановления не превышает 1 (табл. 1). Наиболее высокие показатели этого индекса зафиксированы в ЦП, относящихся к растительным сообществам асс. *Piceeta fruticuloso-hylocomiosa*. Индекс старения достаточно низкий. Минимальные темпы старения отмечены в ельниках – 0,08, максимальные – в сосняках кустарничково-зеленомошных – 0,17. По индексу замещения [11], исследуемые ЦП не зависят от условий местообитания характеризуются как перспективные ($I_3 > 1$). Наиболее высокие значения данного индекса отмечены в ценопопуляциях, приуроченных к ельникам кустарничково-зеленомошным.

По соотношению значений индексов возрастности (Δ) и эффективности (ω) установлено, что ЦП *V. myrtillus*, изученные в ельниках и березняках кустарничково-зеленомошных, относятся к молодому типу. Тогда как ЦП, описанные в сосняках кустарничково-зеленомошных, характеризуются как переходные. Их отличает более интенсивное накопление особей постгенеративной группы (17,2 %) и снижение доли растений виргинильной группы (менее 40 %).

Значение экологической плотности находится в диапазоне от 55,1 до 108,0 ос./кв.м, что ниже значений приводимых для вида в сосняках Мурманской области: от $197,7 \pm 23,2$ до $380,8 \pm 41,6$ ос. [17]. Эффективная плотность по значению меньше экологической примерно в два раза. Такая разница между плотностями является подтверждением типов ценопопуляций, установленных как «молодая» и «переходная».

Анализ влияния экологических факторов на онтогенетическую структуру популяций *V. myrtillus* (табл. 2) позволил выявить значимую на уровне $p < 0,05$ зависимость между освещенностью и количеством особей g_3 . Более высокая освещенность также приводит к увеличению числа отмерших особей.

Богатство почв азотом оказывает отрицательное влияние на количество растений субсенильного онтогенетического состояния.

Таблица 1

Популяционно-демографические параметры ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L.

Ассоциация	I_g	I_c	I_3	Δ	ω	Плотность, ос./м ²	D_e
<i>Piceeta fruticuloso-hylocomiosa</i>	0,68	0,08	1,94	0,29	0,49	76,8	37,5
<i>Pineta fruticuloso-hylocomiosa</i>	0,63	0,17	1,16	0,38	0,48	108,0	50,8
<i>Betuleta fruticuloso-hylocomiosa</i>	0,59	0,11	1,16	0,34	0,53	55,1	29,9

Примечание. I_g – индекс восстановления; I_c – индекс старения; I_3 – индекс замещения; Δ – индекс возрастности; ω – индекс эффективности; D_e – эффективная плотность; плотность – экологическая плотность, (ос./м²).

Таблица 2

Зависимость между онтогенетическими параметрами и экологическими характеристиками ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L.

Экологический фактор	Параметр	Регрессионное уравнение	R^{2*}
N	sc	$y = -10,34 - 1,93 \times N$	0,99
L	g_3	$y = -136,22 + 28,21 \times Lc$	0,99
	s	$y = -136,83 + 27,76 \times Lc$	0,99

Примечание. g_3 – старое генеративное онтогенетическое состояние; s – сенильное онтогенетическое состояние; sc – отмершее онтогенетическое состояние. Уровень значимости коэффициента: * – $P \leq 0,05$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный популяционно-онтогенетический анализ природных ценопопуляций *V. myrtillus* в трех типах лесорастительных условий южно-таежной подзоны тайги на территории Кировской области показывает, что онтогенетическая структура в разных местообитаниях поливариантна, однако имеет общий левосторонний вид онтогенетического спектра. В онтогенетической структуре изучаемых ценопопуляций *V. myrtillus* во всех трех исследуемых типах местообитаний преобладают виргинильные особи, среди особей генеративной группы наиболее представлены зрелые генеративные растения, что соответствует характерному онтогенетическому спектру данной биоморфы.

Наиболее высокие показатели возобновляемости вида отмечены в условиях ельников кустарничково-зеленомошных. Местообитания *V. myrtillus*, приуроченные к соснякам зеленомошным, напротив, характеризуются более слабым восстановлением и высокими темпами старения. Плотность в ценопопуляциях

различных биотопов значительно отличается, достигая максимальных значений в ЦП, изученных в растительных ассоциациях *Pineta fruticuloso-hylocomiosa*.

Выявлены связи высокого уровня значимости между интенсивностью инсоляции и участием в онтогенетической структуре ценопопуляций особей старого генеративного и отмершего состояний ($r = 0,99$, $P < 0,05$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Шманова И. В., Кричфалуший В. В. Биоморфологическая и эколого-ценотическая характеристика *Allium ursinum* L. в Карпатах // Растительные ресурсы. 1995. Т. 31. Вып. 3. С. 1–18.

2. Полянская Т. А. Экологические особенности, онтогенетическая структура и продуктивность ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae) в национальном парке «Марий Чодра» (Республика Марий Эл) // Растительные ресурсы. 2008. Вып. 44. № 2. С. 41–49.

3. Шутов В. В. Структура, динамика и плодоношение популяций кустарничковых растений. Кострома : КГТУ, 2000. 102 с.

4. Шутов В. В. Экология популяции кустарничковых растений. М. : Библио-Глобус, 2016. 281 с.

5. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации Перечня лесных районов РФ : Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18.08.2014 № 367. URL: <https://minjust.consultant.ru/files/11733> (дата обращения: 15.05.2025).

6. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. 1975. № 2. С. 7–34.

7. Полянская Т. А., Жукова Л. А., Шестакова Э. В. Онтогенез черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) // Онтогенетический атлас лекарственных растений. Йошкар-Ола : МарГТУ, 2000. С. 51–59.

8. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола : РИИК «Ланар», 1995. 224 с.

9. Глотов Н. В. Об оценке параметров возрастной структуры популяций растений // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Йошкар-Ола : Периодика Марий Эл, 1998. Ч. 1. С. 146–149.

10. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.

11. Жукова Л. А., Полянская Т. А. О некоторых подходах к прогнозированию перспектив развития ценопопуляций растений // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2013. № 32. С. 160–171.

12. Кравченко А. В. Влияние рекреации на ценопопуляции некоторых эрикоидных кустарничков // Тезисы V Научной конференции, посвященной памяти А. А. Уранова. Кострома, 1995. Ч. 2. С. 168–169.

13. Деева Н. М. Структура ценопопуляций черники в редкостойных лесах Полярного Урала // Экология популяций : тезисы докладов Всероссийской конференции. М., 1988. С. 208–211.

14. Тимошок Е. Е., Сивцова С. А., Паршина Н. В. Возрастная структура ценопопуляций *Vaccinium myrtillus* L. в Западной Сибири // Растительные ресурсы. 1991. Т. 27. Вып. 1. С. 33–42.

15. Данилова М. А., Кетова М. В. Особенности семенного размножения черники (*Vaccinium myrtillus* L.) и голубики (*V. uliginosum* L.) в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2018. Вып. 2. С. 117–123. DOI: 10.17072/1994-9952-2018-2-117-123

16. Царик И. В. Структура популяций автотрофных компонентов в биогеоценозах высокогорий Карпат // Динамика ценопопуляций травянистых растений. Киев: Наукова Думка, 1987. С. 33–42.

17. Лянгузова И. В., Мазная Е. А. Динамические тренды популяций *Vaccinium myrtillus* L. в зоне воздействия медно-никелевого комбината: результаты 20-летнего мониторинга // Экология. 2012. № 4. С. 261–269.

REFERENCES

1. Shmanova I. V., Krichfalushij V. V. Biomorfologicheskaya i ekologo-cenoticheskaya harakteristika *Allium ursinum* L. v Karpatah // Rastitelnye resursy. 1995. T. 31. Vyp. 3. S. 1–18.

2. Polyanskaya T. A. Ekologicheskie osobennosti, ontogeneticheskaya struktura i produktivnost cenopopulyacij *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae) v nacionalnom parke «Marij Chodra» (Respublika Marij El) // Rastitelnye resursy. 2008. Vyp. 44. № 2. S. 41–49.

3. Shutov V. V. Struktura, dinamika i plodonoshenie populyacij kustarnichkovykh rastenij. Kostroma : KGTU, 2000. 102 s.

4. Shutov V. V. Ekologiya populyacii kustarnichkovykh rastenij. M. : Biblio-Globus, 2016. 281 s.

5. Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitelnykh zon Rossijskoj Federacii Perechnya lesnykh rajonov RF : prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF ot 18.08.2014 № 367. URL: <https://minjust.consultant.ru/files/11733> (data obrasheniya: 15.05.2025).

6. Uranov A. A. Vozrastnoj spektr fitocenopopulyacij kak funkciya vremeni i energeticheskikh volnovykh processov // Biologicheskie nauki. 1975. № 2. S. 7–34.

7. Polyanskaya T. A., Zhukova L. A., Shestakova E. V. Ontogenez cherniki obyknovennoj (*Vaccinium myrtillus* L.) // Ontogeneticheskij atlas lekarstvennykh rastenij. Joshkar-Ola : MarGTU, 2000. S. 51–59.

8. Zhukova L. A. Populyacionnaya zhizn lugovykh rastenij. Joshkar-Ola : RIIK «Lanar», 1995. 224 s.

9. Glotov N. V. Ob ocenke parametrov vozrastnoj struktury populyacij rastenij // Zhizn populyacij v geterogennoj srede. Joshkar-Ola : Periodika Marij El, 1998. Ch. 1. S. 146–149.

10. Zhivotovskij L. A. Ontogeneticheskie sostoyaniya, effektivnaya plotnost i klassifikaciya populyacij rastenij // Ekologiya. 2001. № 1. S. 3–7.

11. Zhukova L. A., Polyanskaya T. A. O nekotorykh podhodah k prognozirovaniyu perspektiv razvitiya cenopopulyacij rastenij // Vestnik Tverskogo

gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya. 2013. № 32. S. 160–171.

12. Kravchenko A. V. Vliyanie rekreacii na cenopopulyacii nekotoryh erikoidnyh kustarnichkov // Tezisy V Nauchnoj konferencii, posvyashennoj pamyati A. A. Uranova. Kostroma, 1995. Ch. 2. S. 168–169.

13. Deeva N. M. Struktura cenopopulyacij cherniki v redkostoynyh lesah Polyarnogo Urala // Ekologiya populyacij. Tezisy dokladov Vserossijskoj konferencii. M., 1988. S. 208–211.

14. Timoshok E. E., Sivcova S. A., Parshina N. V. Vozrastnaya struktura cenopopulyacij *Vaccinium myrtillus* L. v Zapadnoj Sibiri // Rastitelnye resursy. 1991. T. 27. Vyp. 1. S. 33–42.

15. Danilova M. A., Ketova M. V. Osobennosti semennogo razmnozheniya cherniki (*Vaccinium myrtillus* L.) i golubiki (*V. uliginosum* L.) v Permskom krae // Vestnik Permskogo universiteta. Ser. Biologiya. 2018. Vyp. 2. S. 117–123. DOI: 10.17072/1994-9952-2018-2-117-123.

16. Carik I. V. Struktura populyacij avtotrofnyh komponentov v biogeocenoazah vysokogorij Karpat // Dinamika cenopopulyacij travyanistyh rastenij. Kiev: Naukova Dumka, 1987. S. 33–42.

17. Lyanguzova I. V., Maznaya E. A. Dinamicheskie trendy populyacij *Vaccinium myrtillus* L. v zone vozdejstviya medno-nikelevogo kombinata: rezultaty 20-letnego monitoringa // Ekologiya. 2012. № 4. S. 261–269.

© Egorova N. Yu., 2025

Поступила в редакцию 16.06.2025
Принята к печати 02.12.2025

ОЦЕНКА СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫХ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТВОЛА ПО ИХ ЗНАЧЕНИЯМ НА ВЫСОТЕ ГРУДИ В ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНЯКАХ И КУЛЬТУРАХ*

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

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

²Ботанический сад Уральского отделения РАН

Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а

³Уральский государственный экономический университет
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45

^{1,2}nikcskript@mail.ru, <http://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. Площади естественных лесов на планете постепенно сокращаются и часто заменяются искусственными насаждениями, площади которых продолжают расти. Необходимо знать, как эта замена может повлиять на изменение структуры квалитетических и количественных показателей биомассы лесов под влиянием климатических сдвигов и, соответственно, на их способность накапливать углерод и на устойчивость к изменению климата. Определение квалитетических показателей стволов довольно трудоемко в связи с необходимостью взятия нескольких дисков по высоте ствола, их обмера, сушки и двойного взвешивания, причем, исследования обычно посвящены древесине, но не коре ствола. Вследствие трудоемкости определения квалитетических показателей стволов деревьев, предлагаются методы их оценки по связи с соответствующим значением на высоте груди ствола. Насколько нам известно, результаты многофакторного анализа связи квалитетических показателей всего ствола с локальными его значениями на высоте груди и морфометрией деревьев в литературе отсутствуют. Наши 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 разработаны прогностические модели средневзвешенных квалитетических показателей ($Q_{ср}$) (содержания сухого вещества и плотности древесины и коры) в зависимости от соответствующих показателей ствола на высоте груди ($Q_{1,3}$) и высоты дерева с учетом происхождения древостоя. Названные независимые переменные объясняют от 68 до 92 % варьирования $Q_{ср}$, а вклады $Q_{1,3}$, высоты дерева и происхождения древостоя в объяснение варьирования $Q_{ср}$ составляют соответственно 62, 25 и 13 %. Большая часть показателей $Q_{ср}$ в культурах на статистически значимом уровне меньше, чем в естественных сосняках. Предложенные модели дают возможность определять квалитетические показатели стволов у сосны Тургайского прогиба без рубки модельных деревьев.

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

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 47–57

ESTIMATING THE AVERAGE-WEIGHTED QUALIMETRIC FEATURES OF THE STEM BY THEIR VALUES AT BREAST HEIGHT IN NATURAL AND ARTIFICIAL *PINUS SYLVESTRIS***

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

¹Ural State Forest Engineering University

37, Siberian tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

²Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

202a, 8 Marta str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

³Ural State University of Economics

62/45, 8 Marta str./ Narodnaya Volya, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

* 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, <http://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>

Abstract. *The areas of natural forests on the planet are gradually decreasing and are often replaced by plantations, the areas of which continue to grow. It is necessary to know how this replacement can affect the change in the structure of qualimetric and quantitative indicators of forest biomass under the influence of climatic shifts and, consequently, their ability to accumulate carbon and their resilience to climate change. Determining the qualimetric parameters of stems is quite laborious due to the need to take several discs along the height of the stem, measure, dry and double weigh them, and research is usually devoted to wood, but not to the bark of the stem. Due to the complexity of determining the qualimetric parameters of tree stems, methods are proposed for evaluating them in relation to the corresponding value at the height of breast height. As far as we know, there are no results of a multifactorial analysis of the relationship between the qualimetric parameters of the entire stem and its local values at breast height and tree morphometry in the literature. The research was conducted 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 in plantations and 14 in natural pine forests, on which 300 sample trees were taken, including 190 in plantations and 110 in natural stands. As a result, predictive models of weighted average qualimetric indicators (Q_{av}) (dry matter content and density of wood and bark) were developed depending on the corresponding stem parameters at breast height ($Q_{1,3}$) and tree height, taking into account the origin of the stand. These independent variables explain from 68 to 92 % of the Q_{av} variation, and the contributions of $Q_{1,3}$, tree height, and stand origin to explain the Q_{av} variation are 62, 25, and 13 %, respectively. Most of the Q_{av} indicators in plantations are statistically significantly lower than in natural stands. The proposed models make it possible to determine the qualimetric parameters of the pine stems in the Turgai Depression without cutting model trees.*

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

ВВЕДЕНИЕ

Нынешнее изменение климата делает все более важной оценку реакции биомассы лесного покрова на это изменение, что, в свою очередь, определяет возможность стабилизации климата за счет сокращения выбросов CO_2 в атмосферу. Площади естественных лесов на планете постепенно сокращаются и часто заменяются искусственными насаждениями, площади которых продолжают расти на 6–13 млн га в год [28; 39; 44; 48; 49]. Необходимо знать, как эта замена может повлиять на изменение структуры биомассы лесов под влиянием климатических сдвигов и, соответственно, на их способность накапливать углерод и на устойчивость к изменению климата [29; 49; 54]. Необходимо также знать все преимущества и недостатки как естественных насаждений, так и культур с точки зрения биологической продуктивности и их способности смягчать последствия изменения климата.

В настоящее время различия естественных насаждений и культур на уровне древостоев установлены по показателям биологической продуктивности в сухой степи Тургайского прогиба в связи с их возрастом [20; 56], а также в возрастном, эдафическом и густотном градиентах [25]. На уровне деревьев выявлены статистически значимые различия структуры биомассы двухвойных сосен естественного и искусственного происхождения и предложены модели и таблицы для ее оценки по регионам России [18]. Их различие показано также по показателям роста и формирования запасов стволовой древесины [1; 5; 53], радиальному приросту стволов деревьев [19], устойчивости к засухам и другим внешним факторам [2; 47; 52; 55], изменению биомассы фракций в связи с прогнозируемым повышением глобальных температур [57; 58], изме-

нению биомассы стволов деревьев при климатических сдвигах [21], биомассе отмерших ветвей на растущих деревьях [22; 23], влиянию индекса конкуренции на оценку биомассы деревьев [17], фитонасыщенности крон деревьев [16], содержанию сухого вещества в фракциях биомассы деревьев [16] и плотности древесины ствола [8], в том числе коры [16].

Определение квалитетических показателей стволов довольно трудоемко в связи с необходимостью взятия нескольких дисков по высоте ствола, их обмера, сушки и двойного взвешивания, причем, исследования обычно посвящены древесине, но не коре ствола. Кора ствола отличается от древесины по своей анатомической структуре, свойствам и химическому составу [42], и ее доля в общей массе ствола в зависимости от видовой принадлежности может варьировать от 5 до 20 % [26; 50], а в массе ветвей ели и сосны – от 18 до 99 % [11; 32]. Кора стволов и ветвей сильно дифференцирована и состоит из меристем, проводящей и непроводящей флоэмы и корки [41], а ее структура претерпевает постоянные изменения из-за отмирания одних тканей и роста других [37; 38].

Вследствие упомянутой трудоемкости определения квалитетических показателей стволов деревьев, предлагаются косвенные методы их оценки, в частности, по связи с соответствующим значением образца, взятого на легко доступной высоте растущего дерева [33; 35]. Так, установлено, что плотность древесины всего ствола у сосны и ели близка к значению локальной плотности на 1/4 высоты ствола [12]. В практическом отношении предпочтителен замер квалитетического показателя не на 1/4 высоты ствола, а на высоте груди, и Л. Н. Исаевой [6] были предложены коэффициенты, представляющие отношение плотности

древесины на высоте груди к плотности, вычисленной как среднеарифметическое значение определений по всем дискам. Названные коэффициенты составили для сосны 0,94 и для лиственницы 0,95. Вследствие известного изменения квалитетических показателей вдоль по стволу [10; 12; 13; 45; 51] и сбежистой формы последнего [24; 30], при определении среднеарифметического значения искомой величины неизбежны смещения по причине не учитываемого разного вклада секций ствола в общую оценку.

Вычислив средневзвешенный показатель базисной плотности древесины в ельнике-кисличнике Ленинградской области, О. И. Полубояринов [12] установил ее линейную связь с плотностью на высоте груди, характеризуемую коэффициентом детерминации 0,878. Аналогичная связь названных показателей плотности у австралийского дуба (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R.Br.) показала наличие коэффициента детерминации 0,810 [35].

Поскольку квалитетрия ствола изменяется в связи с возрастом и высотой дерева, его ценолитическим положением в пологе, эдафическими и климатическими условиями и т. д. [13; 15; 16; 34; 36; 40; 43; 45; 46], названные факторы необходимо учитывать в качестве дополнительных независимых переменных при оценке средневзвешенных квалитетических показателей по измеренным значениям на высоте груди.

Насколько нам известно, подобные результаты многофакторного анализа связи квалитетических показателей всего ствола с локальными его значениями на высоте груди и морфометрией деревьев в литературе отсутствуют.

Цели настоящего исследования:

- по фактическим данным авторов, полученным в естественных сосняках и культурах Тургайского прогиба, выявить характер зависимости средневзвешенных квалитетических показателей (содержания сухого вещества и плотности древесины и коры) от соответствующих показателей ствола на высоте груди;
- установить наличие или отсутствие статистически значимого вклада происхождения древостоев (естественное или искусственное) в объяснительную способность моделей;
- разработать многофакторные модели для оценки квалитетических показателей всего ствола по их значениям на высоте груди и размерным характеристикам дерева.

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. У каждого дерева по относительным высотам ствола в каждом из 10 сечений, а также на высоте 1,3 м, взяты диски, путем обмера, двукратного взвешивания и сушки которых рассчитаны значения содержания сухого вещества, базисной плотности и плотности

в свежем состоянии древесины и коры. Базисная плотность рассчитана как отношение массы в абсолютно сухом состоянии (кг) к объему в свежем состоянии (м³), а плотность в свежем состоянии как отношение массы в свежем состоянии к соответствующему объему. По рассчитанным локальным квалитетическим показателям определены их средневзвешенные значения для всего ствола [12; 15]. Необходимо иметь в виду, что при подобном обмере дисков в коре плотность коры нижней части ствола, покрытой коркой, занижается, поскольку в объем коры включается и объем пустот в ее трещинах. Корректный объем корки можно было бы получить путем копирования ее контура в сечении диска с использованием планиметра, как это было выполнено на срезах стволов можжевельника (*Juniperus occidentalis* Hook.) [31]. Поскольку цель исследования состоит в использовании квалитетрии ствола на высоте груди растущих деревьев сосны, измерить у растущего дерева объем полостей трещин в корке довольно затруднительно. Для определения величины занижения плотности корки в нижней части ствола, а также для снятия проблем с измерениями плотности древесины [59], необходимы специальные исследования.

Краткая характеристика исходных данных приведена в табл. 1.

Выбор структуры модели выполнен с учетом следующих положений: связь некоторых квалитетических показателей на высоте груди и средневзвешенных описывается линейной функцией [12; 35], а связь средневзвешенных квалитетических показателей с возрастом дерева [9], с диаметром ствола [12; 45] и высотой дерева [34] – нелинейной функцией. С целью линеаризации многофакторной модели применено двойное («лог-лог») логарифмирование переменных, в том числе – связи квалитетических показателей на высоте груди и средневзвешенных, поскольку линейная функция равнозначна степенной (аллометрической) при показателе степени, равном 1, т. е. при изометрии [14]. Принадлежность исходных данных к естественным соснякам и культурам закодирована фиктивной (бинарной) переменной [3; 4]: $X = 0$ – для естественных сосняков и $X = 1$ – для культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования с целью выявления характера и уровня значимости связи средних квалитетических показателей с показателями на высоте груди рассчитаны модели

$$\ln Q_{cp} = a_0 + a_1 \ln Q_{1,3} \quad (1)$$

и для установления статистически значимых вкладов квалитетического показателя на высоте груди и происхождения древостоев в объяснение изменчивости средних квалитетических показателей рассчитаны модели

$$\ln Q_{cp} = a_0 + a_1 \ln Q_{1,3} + a_2 X, \quad (2)$$

где Q_{cp} – средневзвешенный квалитетический показатель; $Q_{1,3}$ – квалитетический показатель ствола на высоте груди (см. табл. 1); X – бинарная переменная.

Характеристика полученных моделей для каждой зависимой переменной приведена в табл. 2, а их графическая интерпретация на фоне фактических данных – на рис. 1. Все регрессионные коэффициенты, за исключением одного, значимы на уровне вероятности $P < 0,001$. Наибольшим остаточным варьированием

характеризуются модели для коры – Sb_{cp} и $pw_{b_{cp}}$ – вследствие как ее сложной и непрерывно меняющейся анатомической структуры [37; 38], неучтенного варьирования подъема корки вверх по стволу, так и недостаточной точности ее измерений, что уже отмечалось исследователями ранее [13].

Таблица 1
Диапазоны фактических данных о морфологии и квалитетрии деревьев

№	Показатель	Диапазон		Диапазон	
		от	до	от	до
		Естественные сосняки		Культуры	
1	A , лет	13	110	9	50
2	H , м	1,4	26,1	1,6	16,2
3	D , см	0,3	34,5	0,4	21,7
4	$Ss_{1,3}$, %	36,8	65,2	30,7	68,3
5	Ss_{cp} , %	38,7	63,5	32,3	63,9
6	$Sb_{1,3}$, %	38,0	77,3	35,0	76,1
7	Sb_{cp} , %	36,9	67,5	37,3	64,5
8	$\rho s_{1,3}$, кг/м ³	341,0	577,7	289,2	492,4
9	ρs_{cp} , кг/м ³	336,2	571,5	305,1	460,8
10	$\rho b_{1,3}$, кг/м ³	190,9	567,4	158,6	495,5
11	ρb_{cp} , кг/м ³	220,9	533,2	225,1	406,0
12	$\rho ws_{1,3}$, кг/м ³	611,3	1000	584,6	989,0
13	ρws_{cp} , кг/м ³	606,6	1012	620,1	982,2
14	$\rho wb_{1,3}$, кг/м ³	327,2	979,2	259,1	975,8
15	ρwb_{cp} , кг/м ³	506,6	888,0	497,8	858,2

Примечания. A – возраст дерева, лет; H – высота дерева, м; D – диаметр ствола на высоте груди, см; $Ss_{1,3}$ и Ss_{cp} – соответственно содержание сухого вещества в древесине на высоте груди и средневзвешенное, %; $Sb_{1,3}$ и Sb_{cp} – соответственно содержание сухого вещества в коре на высоте груди и средневзвешенное, %; $\rho s_{1,3}$ и ρs_{cp} – соответственно базисная плотность древесины на высоте груди и средневзвешенная, кг/м³; $\rho b_{1,3}$ и ρb_{cp} – соответственно базисная плотность коры на высоте груди и средневзвешенная, кг/м³; $\rho ws_{1,3}$ и ρws_{cp} – соответственно плотность древесины в свежем состоянии на высоте груди и средневзвешенная, кг/м³; $\rho wb_{1,3}$ и ρwb_{cp} – соответственно плотность коры в свежем состоянии на высоте груди и средневзвешенная, кг/м³.

Таблица 2
Характеристика моделей (1) и (2) с включенной бинарной переменной (X)

$\ln Q_{cp}$	Модель (1)				Модель (2)				
	a_0	$a_1 \ln Q_{1,3}$	$\text{adj}R^2$	SE	a_0	$a_1 \ln Q_{1,3}$	$a_2 X$	$\text{adj}R^2$	SE
$\ln(Ss_{cp})$	0,5182	$0,8565 \ln(Ss_{1,3})$	0,843	0,055	0,6662	$0,8217 \ln(Ss_{1,3})$	$-0,0252 X$	0,849	0,053
$\ln(Sb_{cp})$	2,4169	$0,3720 \ln(Sb_{1,3})$	0,384	0,092	2,4983	$0,3558 \ln(Sb_{1,3})$	$-0,0273 X$	0,394	0,091
$\ln(\rho s_{cp})$	1,0891	$0,8135 \ln(\rho s_{1,3})$	0,779	0,051	1,2716	$0,7842 \ln(\rho s_{1,3})$	$-0,0119 X$	0,781	0,051
$\ln(\rho b_{cp})$	2,5055	$0,5673 \ln(\rho b_{1,3})$	0,721	0,082	2,6237	$0,5526 \ln(\rho b_{1,3})$	$-0,0593 X$	0,755	0,077
$\ln(\rho ws_{cp})$	1,2384	$0,8182 \ln(\rho ws_{1,3})$	0,877	0,031	1,1829	$0,8252 \ln(\rho ws_{1,3})$	$0,0142 X$	0,883	0,030
$\ln(\rho wb_{cp})$	4,8696	$0,2561 \ln(\rho wb_{1,3})$	0,502	0,090	4,8767	$0,2592 \ln(\rho wb_{1,3})$	$-0,0449 X$	0,531	0,087

Примечания. Свободный член моделей скорректирован на логарифмическую трансформацию [27]; $\text{adj}R^2$ – коэффициент детерминации, скорректированный на количество переменных; SE – стандартная ошибка модели. Звездочкой отмечен коэффициент регрессии, значимый на уровне вероятности $P < 0,10$.

Таблица 3
Характеристика моделей (3)

$\ln Q_{cp}$	a_0	$a_1 \ln Q_{1,3}$	$a_2 \ln H$	$a_3 (\ln Q_{1,3})(\ln H)$	$a_4 X$	$\text{adj}R^2$	SE
$\ln(Ss_{cp})$	1,4557	$0,6398 \ln(Ss_{1,3})$	$-0,6309 \ln H$	$0,1509 (\ln(Ss_{1,3})(\ln H))$	$-0,0245 X$	0,920	0,039
$\ln(Sb_{cp})$	0,0662	$1,0428 \ln(Sb_{1,3})$	$0,4614 \ln H$	$-0,1585 (\ln(Sb_{1,3})(\ln H))$	$-0,0160 X$	0,781	0,055
$\ln(\rho s_{cp})$	0,6359	$0,9098 \ln(\rho s_{1,3})$	$0,3362 \ln H$	$-0,0662 (\ln(\rho s_{1,3})(\ln H))$	$-0,0186 X$	0,882	0,038
$\ln(\rho b_{cp})$	1,1425	$0,7965 \ln(\rho b_{1,3})$	$0,5452 \ln H$	$-0,0885 (\ln(\rho b_{1,3})(\ln H))$	$-0,0409 X$	0,773	0,074
$\ln(\rho ws_{cp})$	3,0022	$0,5620 \ln(\rho ws_{1,3})$	$-0,8424 \ln H$	$0,1216 (\ln(\rho ws_{1,3})(\ln H))$	$0,0126 X$	0,902	0,027
$\ln(\rho wb_{cp})$	1,7082	$0,7181 \ln(\rho wb_{1,3})$	$1,0208 \ln H$	$-0,1410 (\ln(\rho wb_{1,3})(\ln H))$	$-0,0187 X$	0,677	0,072

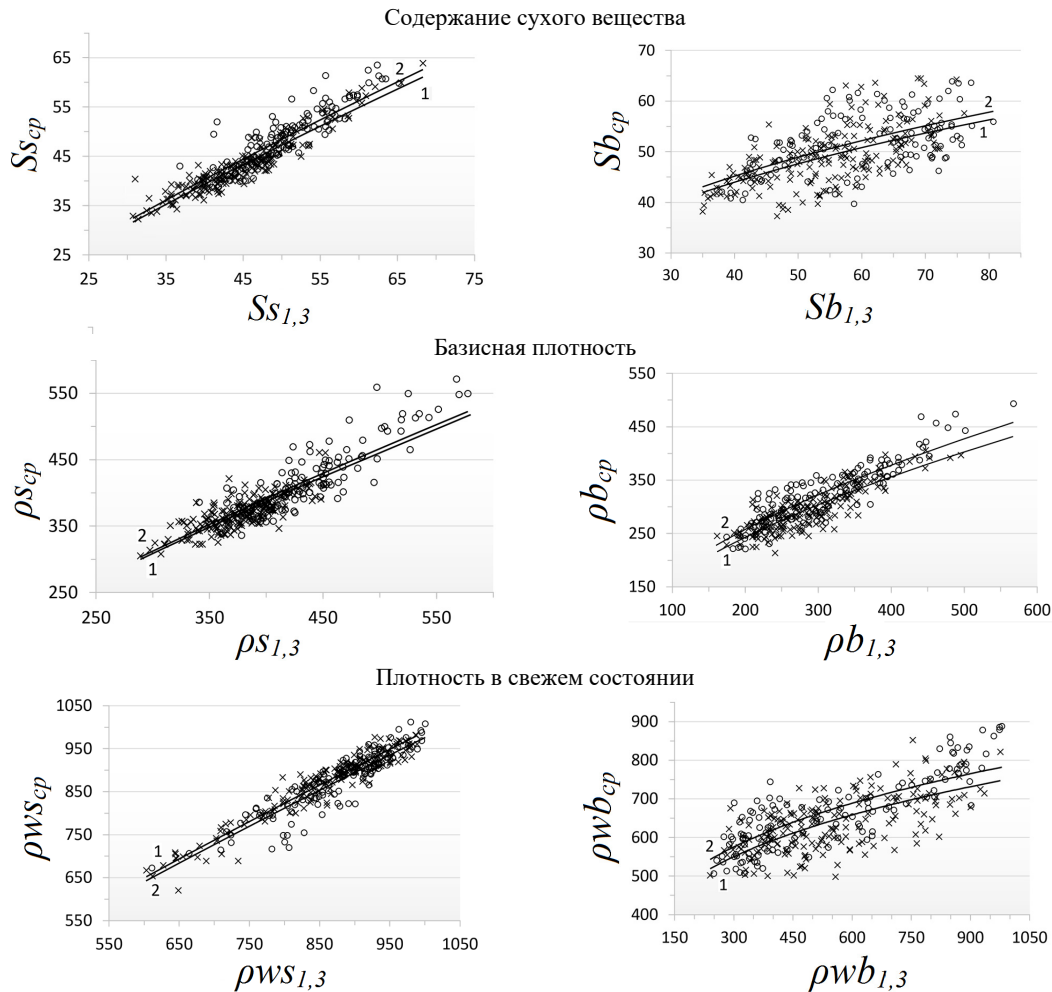


Рис. 1. Графическая интерпретация моделей (2) на фоне фактических данных:
1 – культуры; 2 – естественные сосняки

На втором этапе исследования было необходимо разработать многофакторные модели для оценки квалиметрических показателей всего ствола по их значениям на высоте груди и размерным характеристикам дерева, в частности, возраста, высоты дерева и диаметра ствола на высоте груди. Результаты предварительных расчетов моделей показали, что диаметр ствола практически во всех случаях оказался статистически не значим. Поскольку высота и возраст деревьев тесно коррелированы, для сопоставления их вклада в объяснение изменчивости Q_{cp} они включены в качестве независимых переменных в отдельные модели, соответственно (3) и (4):

$$\ln Q_{cp} = a_0 + a_1 \ln Q_{1,3} + a_2 \ln H + a_3 (\ln Q_{1,3})(\ln H) + a_4 X, \quad (3)$$

$$\ln Q_{cp} = a_0 + a_1 \ln Q_{1,3} + a_2 \ln A + a_3 (\ln Q_{1,3})(\ln A) + a_4 X, \quad (4)$$

Комбинированные переменные $(\ln Q_{1,3})(\ln H)$ и $(\ln Q_{1,3})(\ln A)$ введены в модели для учета совместного действия переменных $(\ln Q_{1,3})$ и $(\ln H)$, а также $(\ln Q_{1,3})$ и $(\ln A)$, поскольку квалиметрические показатели изменяются вдоль по стволу [10; 12; 13; 45; 51], а положение диска, выпиленного на высоте груди, смещается к вершине по мере снижения высоты (возраста) дерева. В результате расчета моделей (3) и (4) оказалось, что модель (3) по степени адекватности исход-

ным данным более предпочтительна по отношению к модели (4), причем, возраст в модели (4) оказался во многих случаях статистически не значим. Одной из возможных причин может быть различие естественных сосняков и культур по возрастным диапазонам: у культур он примерно вдвое меньше (табл. 1).

Результаты расчета модели (3) показаны в табл. 3. Все регрессионные коэффициенты моделей (3) статистически значимы, в том числе, оказалось статистически значимым влияние на оценку квалиметрических показателей происхождения древостоев, что подтверждается величиной критерия Стьюдента для регрессионных коэффициентов a_4 при бинарной переменной X . В моделях для $\ln(Ss_{cp})$, $\ln(Sb_{cp})$, $\ln(ps_{cp})$, $\ln(pb_{cp})$, $\ln(pws_{cp})$ и $\ln(pwb_{cp})$ он составил соответственно 5,0; 2,4; 3,5; 4,4; 3,9 и 2,1, что выше стандартного значения критерия Стьюдента 1,96 на уровне вероятности $P < 0,05$.

Графическая интерпретация моделей (3) для шести квалиметрических показателей наглядно показывает характер совместного действия переменных $\ln Q_{1,3}$ и $\ln H$, опосредованного комбинированной переменной $(\ln Q_{1,3})(\ln H)$, а именно, показывает, как изменяется угол наклона зависимости $\ln Q_{cp}$ от $Q_{1,3}$ при изменении высоты дерева (рис. 2).

Соотношение фактических и расчетных значений квалиметрических показателей по моделям (3) свиде-

тельствует о наличии равномерных остаточных дисперсий и об отсутствии корреляции остатков (рис. 3).

Анализ вкладов независимых переменных моделей (3), приведенных в табл. 3, по методике, предложен-

ной И. Я. Липой [7], показывает (табл. 4), что вклады $\ln Q_{1,3}$, $\ln H$ и X в объяснение изменчивости квалиметрических показателей составляют в среднем соответственно 62, 25 и 13 %.

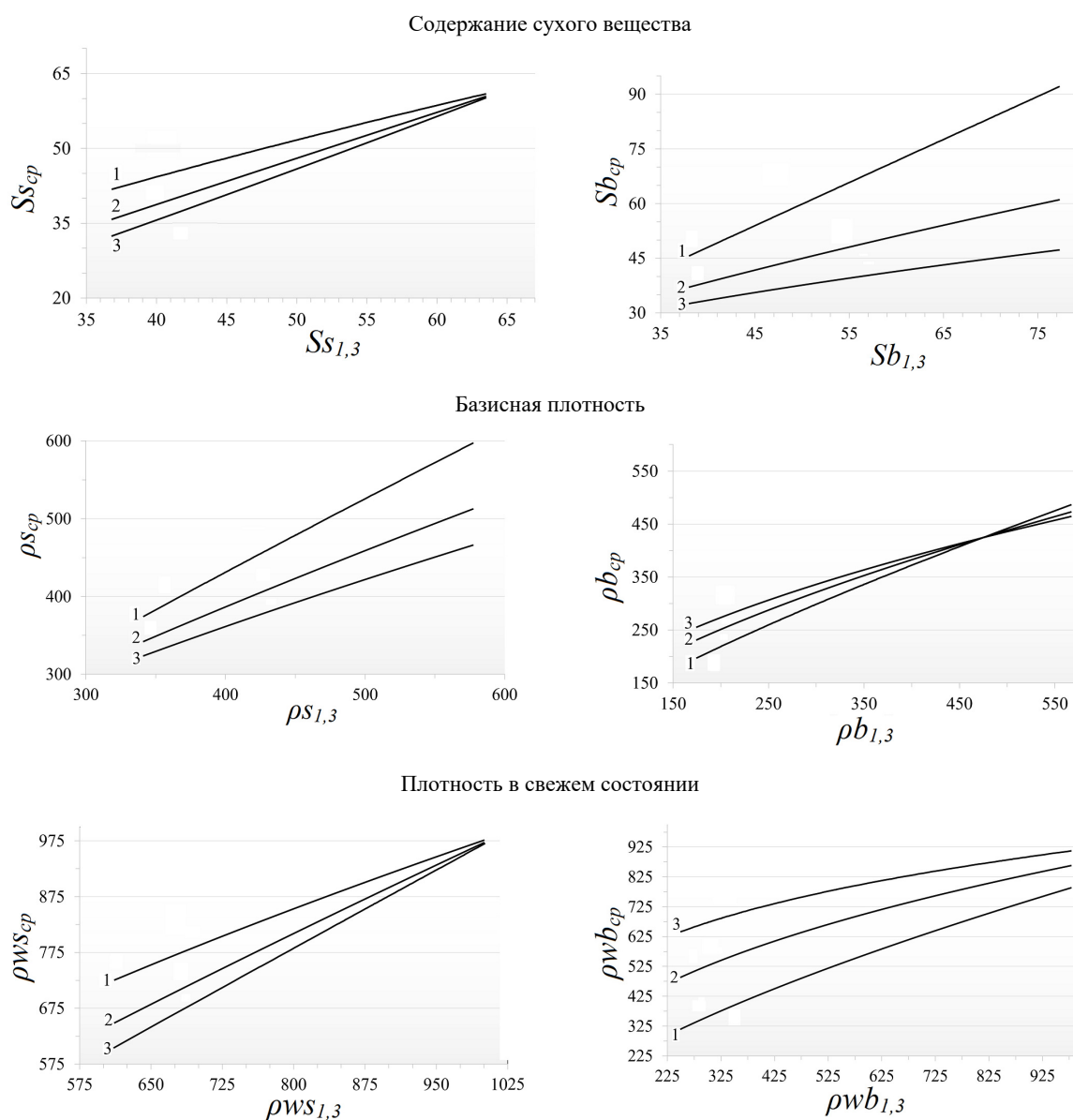


Рис. 2. Графическая интерпретация моделей (3) при разных значениях высоты дерева:

2, 10 и 26 м, обозначенных цифрами соответственно 1, 2 и 3

Таблица 4

Вклады независимых переменных моделей (3) в объяснение изменчивости зависимых переменных

$\ln Q_{cp}$	Независимые переменные		
	$\ln Q_{1,3r}$	$\ln H$	X
$\ln(Ss_{cp})$	55	31	14
$\ln(Sb_{cp})$	71	22	7
$\ln(\rho s_{cp})$	75	12	13
$\ln(\rho b_{cp})$	60	19	20
$\ln(\rho ws_{cp})$	54	29	17
$\ln(\rho wb_{cp})$	58	34	8
В среднем	62±3,6	25±3,4	13±2,1

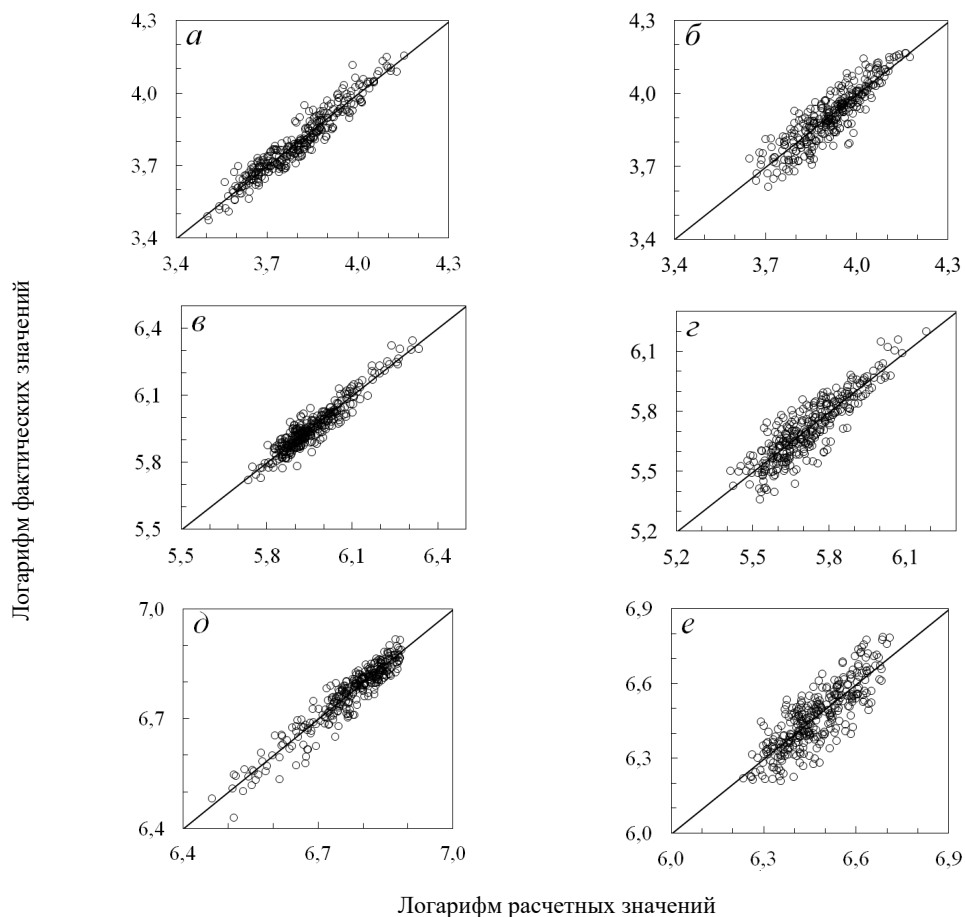


Рис. 3. Соотношение фактических и расчетных значений квалиметрических показателей по моделям (3): а, б, в, г, д и е – соответственно $Ss_{ср}$, $Sb_{ср}$, $ps_{ср}$, $pb_{ср}$, $rws_{ср}$ и $rwb_{ср}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по фактическим данным авторов, полученным в естественных сосняках и культурах Тургайского прогиба, разработаны прогностические модели средневзвешенных квалиметрических показателей ($Q_{ср}$) (содержания сухого вещества и плотности древесины и коры) в зависимости от соответствующих показателей ствола на высоте груди ($Q_{1,3}$).

На первом этапе исследования выполнен расчет аллометрических моделей связи $Q_{ср}$ и $Q_{1,3}$ без включения и с включением в модель бинарной независимой переменной, кодирующей принадлежность данных к естественным соснякам и культурам. Регрессионные коэффициенты при переменной $Q_{1,3}$ и бинарной переменной значимы на уровне вероятности $P < 0,001$ за исключением одного. Наибольшим остаточным варьированием характеризуются модели для коры – вследствие как неучтенного варьирования подъема корки вверх по стволу, так и недостаточной точности измерений ее трещиноватой структуры. Установлено, что $Q_{ср}$ пяти квалиметрических показателей в естественных сосняках больше, чем в культурах, а плотность древесины в свежем состоянии, напротив, в естественных сосняках меньше.

На втором этапе исследования выполнен расчет многофакторных моделей для оценки $Q_{ср}$ по значениям $Q_{1,3}$ и размерным характеристикам дерева с учетом происхождения древостоя. Установлено, что из трех размерных характеристик дерева значимый вклад

в объяснение варьирования $Q_{ср}$ вносит лишь высота дерева. Названные независимые переменные объясняют от 68 до 92 % варьирования $Q_{ср}$, а вклады $Q_{1,3}$, высоты дерева и происхождения древостоя в объяснение варьирования $Q_{ср}$ составляют соответственно 62, 25 и 13 %.

Предложенные модели дают возможность определять квалиметрические показатели стволов у сосны Тургайского прогиба без рубки модельных деревьев. Подобными исследованиями необходимо охватить основные лесообразующие породы. Необходимо также специальное исследование по определению величины смещений оценок плотности корки в нижней части ствола, вызванных ее трещиноватостью и варьированием протяженности по стволу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бабич Н. А., Евдокимов И. В., Неволин Н. Н. Культуры сосны Вологодской области. Вологда : ВГМХА, 2008. 136 с.
2. Бирюкова З. П., Верзунов А. И., Мехедова Л. Г. и др. Водный режим и устойчивость насаждений сосны в Северном Казахстане // Лесоведение. 1989. № 1. С. 9–18.
3. Бубырь Д. С., Клячкин В. Н., Карпунина И. Н. Использование бинарных переменных при регрессионном моделировании состояния технического объекта // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 6 (2). С. 371–373.

4. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М. : Статистика, 1973. 392 с.
5. Залесов С. В., Лобанов А. Н., Луганский Н. А. Рост и производительность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург : УГЛТУ, 2002. 112 с.
6. Исаева Л. Н. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // Лесоведение. 1978. № 4. С. 90–94.
7. Либа И. Я. Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига : Зинатне, 1980. 171 с.
8. Мелехов В. И., Бабич Н. А., Корчагов С. А. Качество древесины сосны в культурах. Архангельск : Изд-во АГТУ, 2003. 110 с.
9. Молчанов А. А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. М. : Наука, 1964. 255 с.
10. Плюха Н. И., Усольцев В. А., Ангальт Е. М. Видовые особенности изменения базисной плотности древесины и коры вдоль по стволу дерева // Хвойные бореальной зоны. 2024а. Т. 42, № 4. С. 11–16.
11. Плюха Н. И., Усольцев В. А., Цепордей И. С. Моделирование доли коры в фитомассе ветвей сосны обыкновенной в степной зоне // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024б. № 1 (61). С. 44–54.
12. Полубояринов О. И. Плотность древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
13. Смоляк Л. П., Петров Е. Г., Русаленко А. И. Объемный вес древесины и коры сосны в различных экологических условиях // Лесное хозяйство. 1978. № 4. С. 70–71.
14. Усольцев В. А. Формирование ствола у березы семенного и порослевого происхождения в аспекте аллометрического роста // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1976. № 7. С. 83–88.
15. Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1988. 253 с. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352> (дата обращения: 07.05.2025).
16. Усольцев В. А. Вертикально-фракционная структура фитомассы деревьев. Исследование закономерностей. Екатеринбург : УГЛТУ, 2013б. 603 с. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2771> (дата обращения: 07.05.2025).
17. Усольцев В. А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей. Екатеринбург : УГЛТУ, 2013а. 553 с. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2627> (дата обращения: 07.05.2025).
18. Усольцев В. А. Фитомасса модельных деревьев лесобразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург : УГЛТУ, 2016. 336 с. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696> (дата обращения: 07.05.2025).
19. Усольцев В. А. Прогнозирование радиального прироста стволов в естественных сосняках и культурах по морфометрии крон, доступной для наземного лидарного сканирования, с учетом мультиколлинеарности факторов // Хвойные бореальной зоны. 2025. Т. 43, № 5. С. 25–35.
20. Усольцев В. А., Крепкий И. С., Прохоров Ю. А. Биологическая продуктивность естественных и искусственных сосняков Аман-Карагайского бора // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1985. № 8. С. 74–79.
21. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Прогнозирование биомассы стволов сосновых деревьев естественных древостоев и лесных культур в связи с изменением климата // Сибирский лесной журнал. 2021. № 2. С. 72–81.
22. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Моделирование фитомассы отмерших ветвей растущих деревьев сосны обыкновенной // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 3 (55). С. 5–16.
23. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Аллометрические модели и таблицы для оценки биомассы отмерших ветвей растущих деревьев дистанционными методами // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. 41. № 1. С. 56–64.
24. Усольцев В. А., Плюха Н. И., Цепордей И. С. Оценка сбежистости стволов деревьев лесобразующих видов Евразии для бортового лазерного зондирования // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2024. № 2. С. 29–39.
25. Усольцев В. А., Терентьев В. В., Белоусов Е. В. и др. Биологическая продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения таежной, лесостепной и степной зон // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 27. Екатеринбург : УГЛТУ, 2006. С. 202–214.
26. Antkowiak L. The use of the bark of some trees and shrubs // Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, Poznan, Poland, 1997. P. 1–10.
27. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2, No. 1. P. 49–53.
28. Brockerhoff E. G., Jactel H., Parrotta J. A. et al. Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity? // Biodiversity and Conservation. 2008. Vol. 17. P. 925–951.
29. Dymond C. C., Beukema S., Nitschke C. R. et al. Carbon sequestration in managed temperate coniferous forests under climate change // Biogeosciences. 2016. Vol. 13. P. 1933–1947.
30. Giagli K., Vavřík 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, No. 6. P. 1011–1022.
31. Gholz H. L. Structure and productivity of *Juniperus occidentalis* in Central Oregon // The American Midland Naturalist. 1980. Vol. 103, No. 2. P. 251–261.
32. Gryc V., Horacek P., Šezingerová J. et al. Basic density of spruce wood, wood with bark, and bark of branches in locations in the Czech Republic // Wood Research. 2011. Vol. 56, No. 1. P. 23–32.
33. Hakkila P. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood // Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 1966. Vol. 61, No. 5. P. 1–98. Available at: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171093> (дата обращения: 07.05.2025).

34. Hakkila P. Coniferous branches as a raw material source. A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues // *Communications Instituti Forestalis Fenniae*. 1972. Vol. 75. P. 1–60.
35. Hernández M. A., Genes P. Y. Wood density at breast height as estimate of the whole tree density in *Grevillea robusta* // *Australian Forestry*. 2016. Vol. 79, No. 3. P. 168–170.
36. Ibanez T., Chave J., Barrabé L. et al. Community variation in wood density along a bioclimatic gradient on a hyper-diverse tropical island // *Journal of Vegetation Science*. 2017. Vol. 28, No. 1. P. 19–33.
37. Ilek A., Kucza J., Morkisz K. Hygroscopicity of the bark of selected forest tree species // *iForest – Biogeosciences and Forestry*. 2016. Vol. 10. No. 1. P. 220–226.
38. Ilek A., Siegert C. M., Wade A. Hygroscopic contributions to bark water storage and controls exerted by internal bark structure over water vapor absorption // *Trees*. 2021. Vol. 35. P. 831–843.
39. Kirilenko A. P., Sedjo R. A. Climate change impacts on forestry // *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*. 2007. Vol. 104. No. 50. P. 19697–19702.
40. Komán S., Feher S. Basic density of hardwoods depending on age and site // *Wood Research*. 2015. Vol. 60. No. 6. P. 907–912.
41. Kozłowski T. T. Carbohydrate sources and sinks in woody plants // *The Botanical Review*. 1992. Vol. 58. P. 108–222.
42. Kraszkiewicz A. Analysis of selected chemical properties of wood and bark of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) // *Inżynieria Rolnicza*. 2009. Vol. 117. No. 8. P. 69–75.
43. Lachowicz H., Bieniasz A., Wojtan R. Variability in the basic density of silver birch wood in Poland // *Silva Fennica*. 2019. Vol. 53. No. 1. Article id 9968.
44. Mackey B. Counting trees, carbon and climate change // *Significance*. 2014. Vol. 11, No. 1. P. 19–23.
45. Magalhães T. M. Effects of site and tree size on wood density and bark properties of Lebonbo ironwood (*Androstachys johnsonii* Prain) // *New Zealand Journal of Forestry Science*. 2021. Vol. 51. P. 1–12.
46. Nabais C., Hansen J. K., David-Schwartz R. et al. The effect of climate on wood density: What provenance trials tell us? // *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 408. P. 148–156.
47. Navarro-Cerrillo R. M., Rodriguez-Vallejo C., Silveiro E. et al. Cumulative drought stress leads to a loss of growth resilience and explains higher mortality in planted than in naturally regenerated *Pinus pinaster* stands // *Forests*. 2018. Vol. 9, No. 6. Article 358.
48. Niskanen A. Forest plantations in the South: Environmental-economic evaluation. In: Palo M., Vanhanen H. (eds.). *World forests from deforestation to transition?* World forests. 2. Dordrecht : Springer, 2000. P. 83–98.
49. Pawson S. M., Brin A., Bockerhoff E. G. et al. Plantation forests, climate change and biodiversity // *Biodiversity and Conservation*. 2013. Vol. 22. P. 1203–1227.
50. Prosinski S. *Chemia drewna* [Chemistry of wood]. Warszawa, Poland : Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1984. 475 p. [in Polish].
51. Repola J. Models for vertical wood density of Scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, No. 4. P. 673–685.
52. Rodriguez-Vallejo C., Navarro-Cerrillo R. M. Contrasting response to drought and climate of planted and natural *Pinus pinaster* Aiton forests in Southern Spain // *Forests*. 2019. Vol. 10, No. 7. Article 603.
53. Stage A. R., Renner D. L., Chapman R. C. Selected yield tables for plantations and natural stands in Inland Northwest Forests. USDA Forest Service, Intermountain Research Station. Research Paper INT-394, 1988. 60 p.
54. Stegen J. C., Swenson N. G., Enquist B. J. et al. Variation in above-ground forest biomass across broad climatic gradients // *Global Ecology and Biogeography*. 2011. Vol. 20, No. 5. P. 744–754.
55. Thomasius H. O. Ökologische und landeskulturelle Aspekte der forstwirtschaftlichen Stoffproduktion // TU Dresden, Universitätsreden, H. 54. 30 Plenartagung des wissenschaftlichen Rates der TU Dresden am 19. Januar 1981. P. 23–33.
56. Usoltsev V. A., Vanclay J. K. Stand biomass dynamics of pine plantations and natural forests on dry steppe in Kazakhstan // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1995. Vol. 10. P. 305–312.
57. Usoltsev V. A., Shobairi O., Tsepordey I. S. Feedback modelling of natural stand and plantation biomass to changes in climatic factors (temperatures and precipitation): A special case for two-needle pines in Eurasia // *Journal of Climate Change*. 2020b. Vol. 6, No. 2. P. 15–32.
58. Usoltsev V. A., Shobairi O., Tsepordey I. S. et al. Are there differences in the response of natural stand and plantation biomass to changes in temperature and precipitation? A case for two-needled pines in Eurasia // *Journal of Resources and Ecology*. 2020a. Vol. 11, No. 4. P. 331–341.
59. Williamson G. B., Wiemann M. C. Measuring wood specific gravity correctly // *American Journal of Botany*. 2010. Vol. 97, No. 3. P. 519–524.

REFERENCES

1. Babich N. A., Evdokimov I. V., Nevolin N. N. *Kul'tury sosny Vologodskoj oblasti*. Vologda : VGMKhA, 2008. 136 s.
2. Biryukova Z. P., Verzunov A. I., Mekhedova L. G. i dr. *Vodnyj rezhim i ustojchivost' nasazhdenij sosny v Severnom Kazakhstane* // *Lesovedenie*. 1989. No. 1. S. 9–18.
3. Bubyř D. S., Klyachkin V. N., Karpunina I. N. *Ispol'zovanie binarnykh peremennykh pri regressionnom modelirovanii sostoyaniya tekhnicheskogo ob'ekta* // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossijskoj Akademii nauk*. 2014. T. 16, № 6 (2). S. 371–373.
4. Draper N., Smith G. *Prikladnoj regressionnyj analiz*. Moscow : Statistika, 1973. 392 s.
5. Zalesov S. V., Lobanov A. N., Lugansky N. A. *Rost i proizvoditel'nost' sosnyakov iskusstvennogo i*

estestvennogo proiskhozhdeniya. Yekaterinburg : UGLTU, 2002. 112 s.

6. Isaeva L. N. Metod rascheta lokal'noj i srednej plotnosti absolutno sukhoy drevesiny v stvolakh sosny i listvennitsy // Lesovedenie. 1978. No. 4. S. 90–94.

7. Liepa I. Ya. Dinamika drevesnykh zapasov: prognozirovaniye i ekologiya. Riga : Zinatne, 1980. 171 s.

8. Melekhov V. I., Babich N. A., Korchagov S. A. Kachestvo drevesiny sosny v kul'turakh. Arhangel'sk: AGTU, 2003. 110 s.

9. Molchanov A. A. Nauchnye osnovy vedeniya khozyajstva v dubravakh lesostepi. Moscow : Nauka, 1964. 255 s.

10. Plyukha N. I., Usoltsev V. A., Anhalt E. M. Vidovye osobennosti izmeneniya bazisnoj plotnosti drevesiny i kory vdol' po stvolu dereva // Conifers of the boreal area. 2024a. T. 42, № 4. S. 11–16.

11. Plyukha N. I., Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Modelirovaniye doli kory v fitomasse vetvej sosny obyknovennoy v stepnoj zone // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie (Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management). 2024b. № 1 (61). S. 44–54.

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

13. Smolyak L. P., Petrov E. G., Rusalenko A. I. Ob'emnyy ves drevesiny i kory sosny v razlichnykh ekologicheskikh usloviyakh // Lesnoe khozyajstvo. 1978. № 4. S. 70–71.

14. Usoltsev V. A. Formirovaniye stvola u berezy semennogo i poroslevogo proiskhozhdeniya v aspekte allometricheskogo rosta // Vestnik sel'skokhozyajstvennoj nauki Kazakhstana. 1976. № 7. S. 83–88.

15. Usoltsev V. A. Rost i struktura fitomassy drevostoev. Novosibirsk : Nauka. Sibirskoe otdelenie, 1988. 253 s. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3352> (дата обращения: 07.05.2025).

16. Usoltsev V. A. Vertikal'no-fraktsionnaya struktura fitomassy dereviev. Issledovanie zakonornostey. Yekaterinburg : UGLTU, 2013b. 603 s. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2771> (дата обращения: 07.05.2025).

17. Usoltsev V. A. Produktsionnye pokazateli i konkurentnye otnosheniya dereviev. Issledovanie zavisimostey. Yekaterinburg : UGLTU, 2013a. 553 s. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/2627> (дата обращения: 07.05.2025).

18. Usoltsev V. A. Fitomassa model'nykh defeviev lesoobrazuyushchikh porod Evrazii. Baza dannykh, klimaticheskii obuslovlennaya geografiya, taksatsionnye normativy. Yekaterinburg : UGLTU, 2016. 336 s. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696> (дата обращения: 07.05.2025).

19. Usoltsev V. A. Prognozirovaniye radial'nogo prirosta stvolov v estestvennykh sosnyakakh i kul'turakh po morfometrii kron, dostupnoj dlya nazemnogo lidarnogo skanirovaniya s uchetom mul'tikolliearnosti faktorov // Khvojnye boreal'noj zony (Conifers of the boreal area). 2025. T. 43, № 5. S. 25–35.

20. Usoltsev V. A., Krepyk I. S., Prokhorov Yu. A. Biologicheskaya produktivnost' estestvennykh i

iskusstvennykh sosnyakov Aman-Karagajskogo bora // Vestnik sel'skokhozyajstvennoj nauki Kazakhstana. 1985. № 8. S. 74–79.

21. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Prognozirovaniye biomassy stvolov sosnykh dereviev estestvennykh drevostoev i lesnykh kul'tur v svyazi s izmeneniyem klimata // Sibirskiy Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2021. № 2. S. 72–81 (in Russian with English abstract and references).].

22. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Modelirovaniye fitomassy otmershikh vetvej rastushchikh dereviev sosny obyknovennoy // Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie (Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management). 2022. № 3 (55). S. 5–16.

23. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Allometricheskii modeli i tablitsy dlya otsenki biomassy otmershikh vetvej rastushchikh dereviev distantsionnymi metodami // Khvojnye boreal'noj zony (Conifers of the boreal area). 2023. T. 41, № 1. S. 56–64.

24. Usoltsev V. A., Plyukha N. I., Tsepordey I. S. Otsenka sbezhistosti stvolov dereviev lesoobrazuyushchikh vidov Evrazii dlya bortovogo lazernogo zondirovaniya // Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva. 2024. No. 2. S. 29–39.

25. Usoltsev V. A., Terentyev V. V., Belousov E. V. i dr. Biologicheskaya produktivnost' sosnyakov iskusstvennogo i estestvennogo proiskhozhdeniya taezhnoj, lesostepnoj i stepnoj zon // Lesa Urala i khozyajstvo v nikh (Forests of Russia and economy in them). 2006. Vol. 27. S. 202–214.

26. Antkowiak L. The use of the bark of some trees and shrubs // Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, Poznan, Poland, 1997. P. 1–10.

27. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2, No. 1. P. 49–53.

28. Brockerhoff E. G., Jactel H., Parrotta J. A. et al. Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity? // Biodiversity and Conservation. 2008. Vol. 17. P. 925–951.

29. Dymond C. C., Beukema S., Nitschke C. R. et al. Carbon sequestration in managed temperate coniferous forests under climate change // Biogeosciences. 2016. Vol. 13. P. 1933–1947.

30. Giagli K., Vavrčik 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, No. 6. P. 1011–1022.

31. Gholz H. L. Structure and productivity of *Juniperus occidentalis* in Central Oregon // The American Midland Naturalist. 1980. Vol. 103, No. 2. P. 251–261.

32. Gryc V., Horacek P., Šezingerová J. et al. Basic density of spruce wood, wood with bark, and bark of branches in locations in the Czech Republic // Wood Research. 2011. Vol. 56, No. 1. P. 23–32.

33. Hakkila P. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood // Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 1966. Vol. 61, No. 5. P. 1–98.

Available at: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171093> (дата обращения: 07.05.2025).

34. Hakkila P. Coniferous branches as a raw material source. A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues // *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 1972. Vol. 75. P. 1–60.
35. Hernández M. A., Genes P. Y. Wood density at breast height as estimate of the whole tree density in *Grevillea robusta* // *Australian Forestry*. 2016. Vol. 79, No. 3. P. 168–170.
36. Ibanez T., Chave J., Barrabé L. et al. Community variation in wood density along a bioclimatic gradient on a hyper-diverse tropical island // *Journal of Vegetation Science*. 2017. Vol. 28, No. 1. P. 19–33.
37. Ilek A., Kucza J., Morkisz K. Hygroscopicity of the bark of selected forest tree species // *iForest – Biogeosciences and Forestry*. 2016. Vol. 10, No. 1. P. 220–226.
38. Ilek A., Siegert C. M., Wade A. Hygroscopic contributions to bark water storage and controls exerted by internal bark structure over water vapor absorption // *Trees*. 2021. Vol. 35. P. 831–843.
39. Kirilenko A. P., Sedjo R. A. Climate change impacts on forestry // *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*. 2007. Vol. 104, No. 50. P. 19697–19702.
40. Komán S., Feher S. Basic density of hardwoods depending on age and site // *Wood Research*. 2015. Vol. 60, No. 6. P. 907–912.
41. Kozłowski T. T. Carbohydrate sources and sinks in woody plants // *The Botanical Review*. 1992. Vol. 58, P. 108–222.
42. Kraszkiewicz A. Analysis of selected chemical properties of wood and bark of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) // *Inżynieria Rolnicza*. 2009. Vol. 117, No. 8. P. 69–75.
43. Lachowicz H., Bieniasz A., Wojtan R. Variability in the basic density of silver birch wood in Poland // *Silva Fennica*. 2019. Vol. 53, No. 1. Article id 9968.
44. Mackey B. Counting trees, carbon and climate change // *Significance*. 2014. Vol. 11, No. 1. P. 19–23.
45. Magalhães T. M. Effects of site and tree size on wood density and bark properties of Lebombo ironwood (*Androstachys johnsonii* Prain) // *New Zealand Journal of Forestry Science*. 2021. Vol. 51. P. 1–12.
46. Nabais C., Hansen J. K., David-Schwartz R. et al. The effect of climate on wood density: What provenance trials tell us? // *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 408. P. 148–156.
47. Navarro-Cerrillo R. M., Rodriguez-Vallejo C., Silveiro E. et al. Cumulative drought stress leads to a loss of growth resilience and explains higher mortality in planted than in naturally regenerated *Pinus pinaster* stands // *Forests*. 2018. Vol. 9, No. 6. Article 358.
48. Niskanen A. Forest plantations in the South: Environmental-economic evaluation. In: Palo M., Vanhanen H. (eds.). *World forests from deforestation to transition? World forests. 2*. Dordrecht : Springer, 2000. P. 83–98.
49. Pawson S. M., Brin A., Brockerhoff E. G. et al. Plantation forests, climate change and biodiversity // *Biodiversity and Conservation*. 2013. Vol. 22. P. 1203–1227.
50. Prosinski S. *Chemia drewna* [Chemistry of wood]. Warszawa, Poland: Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1984. 475 p. [in Polish]
51. Repola J. Models for vertical wood density of Scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density // *Silva Fennica*. 2006. Vol. 40, No. 4. P. 673–685.
52. Rodriguez-Vallejo C., Navarro-Cerrillo R. M. Contrasting response to drought and climate of planted and natural *Pinus pinaster* Aiton forests in Southern Spain // *Forests*. 2019. Vol. 10, No. 7. Article 603.
53. Stage A. R., Renner D. L., Chapman R. C. Selected yield tables for plantations and natural stands in Inland Northwest Forests. USDA Forest Service, Intermountain Research Station. Research Paper INT-394, 1988. 60 p.
54. Stegen J. C., Swenson N. G., Enquist B. J. et al. Variation in above-ground forest biomass across broad climatic gradients // *Global Ecology and Biogeography*. 2011. Vol. 20, No. 5. P. 744–754.
55. Thomasius H. O. Ökologische und landeskulturelle Aspekte der forstwirtschaftlichen Stoffproduktion // TU Dresden, Universitätsreden, H. 54. 30 Plenartagung des wissenschaftlichen Rates der TU Dresden am 19. Januar 1981. P. 23–33.
56. Usoltsev V. A., Vancley J. K. Stand biomass dynamics of pine plantations and natural forests on dry steppe in Kazakhstan // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1995. Vol. 10. P. 305–312.
57. Usoltsev V. A., Shobairi O., Tsepordey I. S. Feedback modelling of natural stand and plantation biomass to changes in climatic factors (temperatures and precipitation): A special case for two-needle pines in Eurasia // *Journal of Climate Change*. 2020b. Vol. 6, No. 2. P. 15–32.
58. Usoltsev V. A., Shobairi O., Tsepordey I. S. et al. Are there differences in the response of natural stand and plantation biomass to changes in temperature and precipitation? A case for two-needled pines in Eurasia // *Journal of Resources and Ecology*. 2020a. Vol. 11, No. 4. P. 331–341.
59. Williamson G. B., Wiemann M. C. Measuring wood specific gravity correctly // *American Journal of Botany*. 2010. Vol. 97, No. 3. P. 519–524.

© Плюха Н. И., Усольцев В. А.,
Часовских В. П., 2025

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДРЕВОСТОЕВ *PINUS SYLVESTRIS* L. В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ ЛЕСОПАРКОВОГО ЗЕЛЕННОГО ПОЯСА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Л. С. Евдокимова^{1,3}, А. И. Татаринцев², Л. В. Зленко³

¹Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

³Институт повышения квалификации работников лесного хозяйства
Российская Федерация, 663090, Красноярский край, г. Дивногорск, ул. Заводская, д. 1/1, пом. 2
E-mail: zlenkov@mail.ru

Аннотация. Объект исследований – древостои *Pinus sylvestris* L. в рекреационных лесах подтаежной части правобережья лесопаркового зеленого пояса г. Красноярск. Цель работы – оценить текущее санитарное состояние рекреационных сосняков. Методы исследований: детальное лесопатологическое обследование насаждений на шести пробных площадях, оценка рекреационной нарушенности (стадии дигрессии) насаждений трансектным методом. Рекреационная нарушенность сосняков на разных участках соответствует I–IV стадиям дигрессии при относительной площади оголенной поверхности почвы 1–15 %. В нарушенных сосняках повышена доля деревьев 3 степени ослабления. Патологических факторов в развитии санитарной обстановки обследования не выявлено.

Ключевые слова: рекреационная нарушенность, подтайга, сосняки, подрост, лесопатологическое обследование.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 58–63

ASSESSMENT OF THE STATE OF STANDS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN THE RECREATIONAL FORESTS OF THE RIGHT BANK OF THE FOREST PARK GREEN BELT OF KRASNOYARSK

L. S. Evdokimova^{1,3}, A. I. Tatarintsev², L. V. Zlenko³

¹Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
50, Akademgorodok st., Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

³Institute of Advanced Training of Forestry Workers
1/1, room 2, Zavodskaya st., Divnogorsk, Krasnoyarsk krai, 663090, Russian Federation
E-mail: zlenkov@mail.ru

Annotation. The object of research is stands of *Pinus sylvestris* L. in the recreational forests of the subtaiga part of the right bank of the forest park green belt of Krasnoyarsk. The purpose of the work is to assess the current sanitary condition of recreational pine forests. Research methods: detailed forest pathology examination of plantings on six test areas, assessment of recreational disturbance (stages of digression) of plantings by the transect method. Recreational disturbance of pine forests in different areas corresponds to the I–IV stages of digression with a relative area of 1–15 % of the bare soil surface. In the disturbed pine forests, the proportion of trees of the 3rd degree of weakening is increased. There were no pathological factors in the development of the sanitary conditions of the examination.

Keywords: Recreational disturbance, subtaiga, pine forests, undergrowth, forest pathology examination.

ВВЕДЕНИЕ (ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ)

Леса рекреационного назначения используются для организации массового отдыха населения, на землях лесного фонда определяются в защитных лесах, на землях населенных пунктов в территориальных рекреационных зонах, в оборудованных специально для туризма местах на землях ООПТ (особо охраняемых природных территорий) и иных категориях зе-

мель, предназначенных для выполнения рекреационных функций [7; 10; 15], [18; 23].

За пределами городской черты на землях лесного фонда выделяются зеленые зоны городов, функциональный потенциал которых способен обеспечить защиту населения от различного рода воздействий неблагоприятных природных и техногенных явлений, а также восстановить утраченный функционал окру-

жающей среды [10]. Население используют выделенные зоны для отдыха, несмотря на высокие антропогенные нагрузки, промышленное загрязнение различной природы происхождения и интенсивности [17].

Антропогенные и техногенные воздействия в комплексе своем оказывают неблагоприятное влияние на рекреационные леса и их санитарное состояние, одновременно с тем как к местам комфортного отдыха населения предъявляются повышенные требования к созданию благоприятных условий и устранению процессов деградации лесных насаждений [15; 17].

Рекреационные леса г. Красноярска и г. Дивногорска, расположенные на правом берегу долины реки Енисей, подвержены локальному климатическому влиянию водохранилища и искусственно регулируемого стоку, относятся к среднесибирскому сектору в зоне подтайги [12; 22] и природному ландшафту светлохвойной тайги Торгашинского хребта [1].

Цель работы – дать оценку текущему санитарному состоянию рекреационных сосняков в условиях г. Дивногорска, а также примыкающих к западной окраине правобережной части г. Красноярска. Задача: определить рекреационную нарушенность основных лесов, оценить категории санитарного состояния с фиксацией текущей рекреационной дигрессии насаждений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в границах рекреационной зоны Национального парка «Красноярские Столбы», внутригородских зеленых насаждений г. Дивногорска и границах 36 квартала 10 выдела Дивногорского участкового лесничества Красноярского лесничества, которые входят в лесопарковый зеленый пояс города Красноярска [13].

Объектом нашего исследования стали рекреационные леса, которые находятся в экотоне между лесостепью и тайгой. В рекреационных лесах преобладают основные насаждения, однородные по лесоводственно-таксационным характеристикам. Выбрали шесть таких участков (табл. 1), где произрастают преимущественно сосняки с осочково-разнотравным напочвенным покровом, включая от 90 до 200 деревьев первого яруса.

На этих участках мы провели детальное (инструментальное) обследование древостоев по методике,

описанной в Правилах санитарной безопасности в лесах [14], с использованием специальных инструментов для измерения и визуального анализа состояния деревьев.

Для определения показателей санитарного состояния древостоя применялись суммы площадей поперечного сечения стволов на высоте 1,3 м, что по мнению А.С. Алексеева, допустимо для использования вместо их объема [3; 4]. На пробных площадях деревья всех пород подразделяли по ступеням диаметра стволов на высоте груди в 4 см. Категории санитарного состояния, согласно диагностических признаков деревьев подразделяли: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – погибшие, в том числе свежий и старый сухостой, ветровал и бурелом.

В ходе оценки санитарного состояния деревьев проводился визуальный анализ на предмет наличия заболеваний и явных повреждений, которые могли стать предпосылками для ослабления и последующего усыхания деревьев, попавших в перечень. Исследования проводилось с учетом как прямых, так и косвенных макроскопических индикаторов, характерных для данного состояния, таким как наличие плодовых тел, глубоких механических повреждений, травм на стволах или корнях деревьев, морозных трещин, потеков смолы, суховершинности и прочим [5].

К пораженным смоляным раком (серянкой) относили деревья со следующими признаками: специфические раны на стволах и ветвях в разных частях кроны с частичным или полным ее усыханием, также по расположению в зоне живых ветвей темных ран со смолопотками [20]. Биаторелловый (язвенный) рак диагностировали по открытым глубоким ступенчатым ранам широкоовальной или ромбовидной формы с сильно заостренными краями или засмоленными, часто окруженными наплывами язв образованию как на стволах, так и на ветвях деревьев [6; 9]. Идентификация стволовой гнили проводилась в первую очередь на основании присутствия плодовых тел (базидиом) характерного возбудителя на стволах деревьев, а бугорчатый бактериальный рак по свилеватым бугорчатым наростам [21]. Сухобокость на стволе определяли согласно ГОСТ 2140–81 «Видимые пороки древесины» [11]. Классификация, термины и определения, способы измерения по омертвевшим участкам поверхности стволов, возникших в результате ушибов или зарубов.

Таблица 1
Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений на пробных площадях

ПП*	Состав	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Бонитет	Полнота
Дд1	10С+Б, Лц	170	26	35,0	3	0,4
Дд2	10С+Б, Лц	170	26	38,0	3	0,5
Дг1	10С+Б, Лц	170	26	38,7	3	0,7
Дг2	10С+Б, Лц	170	26	38,4	3	0,5
Нп1	10С+Лц	160	23	29,3	3	0,6
Нп2	10С+Лц	160	27	43,8	2	0,8

Примечание. *Дд1,2 – в границах Дивногорского участкового лесничества Красноярского лесничества; Дг1,2 – внутригородских зеленых насаждений г. Дивногорска; Нп1,2 – туристско-экскурсионного района Национального парка «Красноярские Столбы».

Степень рекреационной дигрессии сосняков оценивалась методом трансектов. Этот метод позволяет установить относительную площадь живого напочвенного покрова, утраченного в результате вытаптывания до минерального горизонта, согласно ОСТ 56-100-95.

Интегральная оценка состояния древостоев сосны обыкновенной базировалась на следующих показателях: соотношение деревьев различных категорий санитарного состояния (виталитетный спектр), средневзвешенная категория (средний индекс) санитарного состояния древостоя (K_{av}), параметры отпада деревьев. K_{av} рассчитывали по формуле:

$$K_{av} = (P_1 \times K_1 + P_2 \times K_2 + P_3 \times K_3 + P_4 \times K_4 + P_5 \times K_5) / 100, \quad (1)$$

где P_i – доля сумм поперечных сечений стволов на высоте 1,3 м деревьев каждой категории санитарного состояния, в %; K_i – индекс категории состояния деревьев (1-5).

При $K_{av} \leq 1,5$ древостой в среднем не имеет видимых признаков ослабления; $1,51 < K_{av} \leq 2,5$ – древостой в среднем ослаблен; $2,51 < K_{av} \leq 3,5$ – сильно ослаблен; $3,51 < K_{av} \leq 4,5$ – усыхает; $K_{av} > 4,51$ – утратил жизнеспособность [14].

По материалам исследований на каждой пробной площади определялась распространенность болезней (P , %), повреждений по формуле

$$P = 100 \times n/N, \quad (2)$$

где n – сумма поперечных сечений стволов на высоте 1,3 м совокупности деревьев с признаками конкретного поражения (повреждения), m^2 ; N – сумма поперечных сечений стволов на высоте 1,3 м всех деревьев на ПП, m^2 .

Распространенность болезней и повреждений сосняков оценивали по средневзвешенному санитарному состоянию пораженных деревьев ($K_{ср.}$) по формуле (1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расположение сосняков в границах лесопаркового зеленого пояса городов, близость населенных пунктов, наличие строений и дачных участков, в ряде случаев автомобильной дороги федерального значения и железнодорожных путей, повлекли за собой и многолетние рекреационные нагрузки в обследуемых лесных экосистемах. Сосняки с рекреационной нарушенностью, в пределах исследуемой лесопокрытой площади не достигают максимальных стадий дигрессии (табл. 2). На землях лесного фонда и особо охраняемых природных территорий, равнозначно, отмечаются I и III стадия дигрессии, при этом изменения лесной среды не наблюдаются на ПП за периметром рекреационного обустройства [18].

Внутригородские зеленые насаждения г. Дивногорска имеют IV стадию дигрессии, указывающую на изменения биогеоценоза в сильной степени от воздействия рекреационной нагрузки. Связано это с расположением лесного массива [8] между террасами горо-

да [2], а также необходимостью граждан в постоянном пересечении зеленой зоны как по организованным, так и неорганизованным тропам.

Отдельно, стоит отметить, что на пробной площади Нп1 в районе подъема к Первому столбу в границах Национального парка «Красноярские Столбы» рекреационная дигрессия с IV стадии достигла III благодаря установке лестницы на винтовых сваях, что в свою очередь привело к изменению многолетней оценки жизненного состояния ближайших сосняков в сторону стабильности, где количество здоровых деревьев без признаков ослабления составляет более 70 %, что соответствует уровню 2017 года (2001 – 22,0 %, 2017 – 76,2 %, 2023 – 79,5 %) [19].

Степень влияния рекреации на лесную среду установлена на основании изменений живого напочвенного покрова, который является наименее устойчивым компонентом леса и подвергается изменениям в первую очередь. В анализе используется данный количественный показатель рекреационного воздействия на исследуемые сосняки.

Состояние исследуемых сосновых древостоев наиболее точно передается через их виталитетную структуру (табл. 3). На всех исследуемых пробных площадях при оценке фиксируется распределение деревьев по категориям состояния с преобладанием экземпляров 1 (без признаков ослабления) и 2 (ослабленные) категорий санитарного состояния. Представленное распределение дает основания полагать, что рекреационные сосняки в районе исследований находятся в удовлетворительном состоянии. Отмечаемая положительная асимметрия в виталитетном спектре древостоев в большей степени выражена в насаждениях, слабо нарушенных рекреацией, за исключением зеленых насаждений г. Дивногорска. Состояние сосняков на фоне повышенной рекреационной нагрузки на части участков (ПП Дг1 и Дг2) соответствует градации ослабленных ($K_{av} = 1,7-1,8$). На этих территориях зафиксировано значительное количество деревьев 3-й категории санитарного состояния (сильно ослабленные) (табл. 3).

Расчетные значения среднего индекса состояния (K_{av}) показали, что древостой в границах рекреационной зоны Национального парка «Красноярские Столбы» являются здоровыми (жизнеспособными) [там же].

В изученных сосняках выявлены немногочисленные типичные для *Pinus sylvestris* инфекционные болезни (с распространенностью не более 4 %), которые не оказывают значительного влияния на санитарное состояние древостоев (табл. 4). Деревья сосны характеризуются признаками поражения стволовой гнилью в местах рекреационного воздействия с некоторым ослаблением состояния и вредоносностью чуть выше 5 %. Сухобочины на стволах отмечаются в рекреационных сосняках повсеместно, распространенность деревьев с такими повреждениями свыше 10 %, наблюдается на пробных площадях с повышенной рекреационной нарушенностью зеленых насаждений г. Дивногорска, а также в границах Дивногорского участкового лесничества Красноярского лесничества [там же].

Таблица 2

Рекреационная нарушенность поврежденных насаждений на пробных площадях

Пробные площади	Дд1	Дд2	Дг1	Дг2	Нп1	Нп2
Относительная площадь вытоптанной поверхности ЖНП, %	6	1	11	15	6	1
Стадия дигрессии	III	I	IV	IV	III	I

Примечание. *Дд1,2 – в границах Дивногорского участкового лесничества Красноярского лесничества; Дг1,2 – внутри-городских зеленых насаждений г. Дивногорска; Нп1,2 – туристско-экскурсионного района Национального парка «Красноярские Столбы».

Таблица 3

Показатели санитарного состояния насаждений на пробных площадях

№ п/п	Распределение деревьев по категориям санитарного состояния, % от $\sum g$					Средневзвешенная категория санитарного состояния (K_{av})	Средний диаметр, см	
	1	2	3	отпад			весь древо-стой	в части отпада
				общий 4-5а-е	текущий 4,5а-в			
Дг1	50,36	37,80	8,44	3,4	1,97	1,7 ослабленные	40	24
Дг2	48,78	31,28	16,66	3,28	1,2	1,8 ослабленные	40	28
Нп1	79,54	15,54	3,18	1,74	0,78	1,3 без признаков ослабл.	28	20
Нп2	71,80	21,48	1,09	5,63	0	1,5 без признаков ослабл.	44	24
Дд1	81,67	13,94	4,39	0	0	1,2 без признаков ослабл.	36	0
Дд2	42,25	51,36	5,81	0,58	0,29	1,6 ослабленные	40	20

Таблица 4

Показатели проявления болезней, повреждений *Pinus sylvestris* L. на пробных площадях

Признаки ослабления, повреждения насаждений / № п/п	Распространенность, % / средневзвешенная категория санитарного состояния пораженных деревьев (К ср.)					
	Дг1	Дг2	Нп1	Нп2	Дд1	Дд2
Смоляной рак (серянка)		0,9 / 2,0 ослабл.		0,7 / 2,0 ослабл.		
Биаторелловый (язвенный) рак	4,3 / 2,5 ослабл	0,9 / 2,0 ослабл.				
Стволовая гниль	1,1 / 2,0 ослабл		0,4 / 2,0 ослабл.	2,1 / 1,1 без признаков ослабл.	5,1 / 2,0 ослабл.	1,3 / 1,0 без признаков ослабл.
Бугорчатый бактериальный рак		2,86 / 2,0 ослабл.				
Сухобокость	17,2 / 1,7 ослабл	0,9 / 1,50 без признаков ослабл.	5,4 / 1,1 без признаков ослабл.	0,7 / 3,0 сильно ослабл.	11,9 / 1,50 без признаков ослабл.	14,5 / 1,9 ослабл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рекреационные леса правобережья лесопаркового зеленого пояса г. Красноярска привлекательны и доступны, в связи с чем, испытывают значительные антропогенные нагрузки и подвергаются промышленным загрязнениям. Рекреационная нарушенность основных древостоев не достигает максимальных стадий в границах исследуемой покрытой лесом территории. Патологических факторов в развитии санитарной обстановки обследования не выявлено.

Отмечается увеличение числа сильно ослабленных деревьев 3-й категории санитарного состояния при достижении IV стадии рекреационной дигрессии, характеризующейся изменениями лесной среды в сильной степени.

При регулировании рекреационной нагрузки с применением значительных мер, таких как устрой-

во лестниц в начале туристических маршрутов и своевременная уборка неликвидной древесины, древостой становится здоровым с признаками хорошего развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Авдеева Е. В., Вагнер Е. А., Извеков А. А. Ландшафтные ресурсы – основа формирования системы озеленения городов (на примере г. Красноярска и его зеленой зоны) // Вестник БГУ. Серия 2: Химия. Биология. География. 2012. № 2. С. 85–90. EDN SCSGJL.

2. Авдеева Е. В. Особенности ландшафтной среды г. Дивногорска // Вестник КрасГАУ. 2006. № 10. С. 144–146. EDN KXNDZP.

3. Алексеев А. С. Мониторинг лесных систем : учебное пособие. СПб. : ЛТА, 1997. 116 с.

4. Аминев П. И., Мацан Т. М. К изучению санитарного и лесопатологического состояния сосняков Восточного Саяна // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2024. № 65. С. 3–8. EDN ZZADPT.

5. Варенцова Е. Ю., Мамаев Н. А., Мартирова М. Б. Фитопатологическое состояние сосны и ели в древостоях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. № 244. С. 131–149. DOI 10.21266/2079-4304.2023.244.131-149. EDN UFDCIA.

6. Воробьева, М. В. Болезни древесных растений : учебное электронное пособие / М. В. Воробьева ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 231 Мб. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Мин. системные требования: IBM Intel Celeron 1,3 ГГц ; Microsoft Windows XP SP3 ; Видеосистема Intel HD Graphics ; дисковод, мышь. Загл. с титул. экрана. Текст : электронный.

7. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 01.01.2025) // [Электронный ресурс] URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102073184>.

8. Зиганшин Р. А. Лесной массив: Географические и лесотаксационные признаки и критерии // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 50–68. EDN SLRSRX.

9. Лесная энциклопедия: В 2-х т. / гл. ред. Г. И. Воробьев; ред. кол.: Н. А. Анучин, В. Г. Атрохин, В. Н. Виноградов и др. М. : Сов. энциклопедия, 1985. 563 с., ил.

10. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 01.01.2025) // [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102110364>.

11. Межгосударственный стандарт ГОСТ 2140–81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения: межгосударственный стандарт: утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта СССР от 30 июня 1981 г. № 3239: взамен ГОСТ 2140–71: дата введения 1982-01-01 (в ред. апрель 2004). URL: <https://internet.garant.ru/> (дата обращения: 01.01.2025). Режим доступа: для авториз. пользователей. Текст: электронный.

12. Назимова Д. И., В. Г. Царегородцев, Н. М. Андреева Лесорастительные зоны юга Сибири и современное изменение климата // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 55–63. EDN MSLSDH.

13. Об установлении границ лесопаркового зеленого пояса города Красноярска : Постановление Правительства Красноярского края от 14.05.2019 № 255-П (ред. от 16.07.2024) // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zakon.krskstate.ru/0/doc/57764>.

14. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.12.2020 № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах» [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012110016>.

15. Рекомендации по организации и ведению хозяйства в лесах рекреационного назначения (утв. Государственный комитет СССР по лесу, 1985) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9032037>.

16. Стандарт отрасли ОСТ 56-100-95. Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы: отраслевой стандарт: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 20.07.1995 № 114: введен впервые: дата введения 1995-01-09 / Разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ). URL: <https://internet.garant.ru/> (дата обращения: 01.01.2025). Режим доступа: для авториз. пользователей. Текст: электронный.

17. Стороженко В. Г. Теория устойчивости в практике лесопатологических обследований рекреационных лесов (на примере древостоев Серебряноборского опытного лесничества ИЛАН РАН) // Лесохозяйственная информация. 2019. № 4. С. 87–97. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.08. EDN FKOPPO.

18. Султанова Р. Р., Мартынова М. В. Основы рекреационного лесоводства. Санкт-Петербург : Лань, 2018. 264 с. ISBN 978-5-8114-2779-6. EDN YTYJIA.

19. Татаринцев А. И., Дробноскок И. В. Динамика санитарного и лесопатологического состояния нарушенных сосняков на территории заповедника «Столбы» // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, № 2. С. 165–171. EDN YRMSDB.

20. Татаринцев А. И., Аминев П. И. Пораженность сосняков смоляным раком на территории Красноярского Приангарья: эколого-ценотические особенности распространенности болезни // Хвойные бореальной зоны. 2014. Т. 32, № 3-4. С. 58–65. EDN TUIPJD.

21. Татаринцев А. И., Кулакова Н. Н. Санитарное состояние рекреационных сосняков в подтаежных лесах пригорода Красноярска // Биосфера. 2023. Т. 15, № 4. С. 349–357. DOI 10.24855/biosfera.v15i4.865353. EDN OQMLMV.

22. Эколого-лесоводственные особенности санитарно-фитопатологического состояния антропогенно нарушенных насаждений Средней Сибири : автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.02 : защищена 25.06.2020 / А. И. Татаринцев ; [науч. консультант И. Н. Павлов ; оппоненты: А. Ю. Кулагин, В. В. Царалунга, А. В. Данчева] ; Уральский гос. лесотехнич. ун-т. Екатеринбург, 2020. 39 с. Текст : электронный.

23. Об особо охраняемых природных территориях : федер. закон от 14.03.1995 № 33-ФЗ (ред. от 01.01.2025) // [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102034651>.

REFERENCES

1. Avdeeva E. V., Vagner E. A., Izvekov A. A. Landshaftnye resursy – osnova formirovaniya sistemy ozeleneniya gorodov (na primere g. Krasnoyarska i ego zelenoj zony) // Vestnik BGU. Seriya 2: Himiya. Biologiya. Geografiya. 2012. № 2. S. 85–90. EDN SCSGJL.
2. Avdeeva E. V. Osobennosti landshaftnoj sredy g. Divnogorska // Vestnik KrasGAU. 2006. № 10. S. 144–146. EDN KXNDZP.
3. Alekseev A. S. Monitoring lesnyh sistem: uchebnoe posobie. SPb. : LTA, 1997. 116 s.
4. Aminev P. I., Macan T. M. K izucheniyu sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya sosnyakov Vos-

tochnogo Sayana // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2024. № 65. S. 3–8. EDN ZZADPT.

5. Varenkova E. Yu., Mamaev N. A., Martirova M. B. Fitopatologicheskoe sostoyanie sosny i eli v drevostoyah Leningradskoj oblasti // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2023. № 244. S. 131–149. DOI 10.21266/2079-4304.2023.244.131-149. EDN UFDCIA.

6. Vorob'eva M. V. Bolezni drevesnyh rastenij : uchebnoe elektronnoe posobie ; Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet. Ekaterinburg : UGLTU, 2022. 231 Mb. 1 elektron. opt. disk (CD-ROM). Min. sistemnye trebovaniya: IBM Intel Celeron 1,3 GГц ; Microsoft Windows XP SP3 ; Videosistema Intel HD Graphics ; diskovod, mysh'. Zagl. s titul. ekrana. Tekst : elektronnyj.

7. Zemel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 25.10.2001 № 136-FZ (red. ot 01.01.2025) // [Elektronnyj resurs]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102073184>.

8. Ziganshin, R. A. Lesnoj massiv: Geograficheskie i lesotaksacionnye priznaki i kriterii // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2014. № 1. S. 50–68. EDN SLRSRX.

9. Lesnaya enciklopediya : v 2-h t. / Gl. red. G. I. Vorob'ev; Red. kol.: N. A. Anuchin, V. G. Atrohin, V. N. Vinogradov i dr. M. : Sov. enciklopediya, 1985. 563 s., il.

10. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii ot 04.12.2006 № 200-FZ (red. ot 01.01.2025) // [Elektronnyj resurs]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102110364>.

11. Mezhhgosudarstvennyj standart GOST 2140–81. Vidimye poroki drevesiny. Klassifikaciya, terminy i opredeleniya, sposoby izmereniya: mezhhgosudarstvennyj standart: utverzhden i vveden v dejstvie postanovleniem Gosstandarta SSSR ot 30 iyunya 1981 g. № 3239: vzamen GOST 2140–71: data vvedeniya 1982-01-01 (v red. april' 2004). URL: <https://internet.garant.ru/> (data obrashcheniya: 01.01.2025). Rezhim dostupa: dlya avtoriz. pol'zovatelej. Tekst: elektronnyj.

12. Nazimova D. I., Caregorodcev V. G., Andreeva N. M. Lesorastitel'nye zony yuga Sibiri i sovremennoe izmenenie klimata // Geografiya i prirodnye resursy. 2010. № 2. S. 55–63. EDN MSLSDH.

13. Ob ustanovlenii granic lesoparkovogo zelenogo poyasa goroda Krasnoyarska : Postanovlenie Pravitel'stva Krasnoyarskogo kraya ot 14.05.2019 № 255-P (red. ot 16.07.2024) // [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.zakon.krsstate.ru/0/doc/57764>.

14. Ob utverzhdenii Pravil sanitarnoj bezopasnosti v lesah : Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 09.12.2020 № 2047 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012110016>.

15. Rekomendacii po organizacii i vedeniyu hozyajstva v lesah rekreacionnogo naznacheniya (utv. Gosu-

darstvennyj komitet SSSR po lesu, 1985) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9032037>.

16. Standart otrasli OST 56-100-95. Metody i ediniy izmereniya rekreacionnyh nagruzok na lesnye prirodnye komplekсы: otraslevoj standart: utverzhden i vveden v dejstvie prikazom Federal'nogo agentstva lesnogo hozyajstva ot 20.07.1995 № 114: veden vpervye: data vvedeniya 1995-01-09 / Razrabotan Vserossijskim nauchno-issledovatel'skim institutom lesovodstva i mekhanizacii lesnogo hozyajstva (VNIILM). URL: <https://internet.garant.ru/> (data obrashcheniya: 01.01.2025). Rezhim dostupa: dlya avtoriz. pol'zovatelej. Tekst: elektronnyj.

17. Storozhenko V. G. Teoriya ustojchivosti v praktike lesopatologicheskikh obsledovanij rekreacionnyh lesov (na primere drevostoev Serebryanoborskogo opytного lesnichestva ILAN RAN) // Lesohozyajstvennaya informaciya. 2019. № 4. S. 87–97. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.08. EDN FKOPPO.

18. Sultanova R. R., Martynova M. V. Osnovy rekreacionnogo lesovodstva. Sankt-Peterburg : Lan', 2018. 264 s. ISBN 978-5-8114-2779-6. EDN YTYJIA.

19. Tatarincev A. I., Drobnoskok I. V. Dinamika sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya narushennyh sosnyakov na territorii zapovednika "Stolby" // Hvojnye boreal'noj zony. 2018. T. 36, № 2. S. 165–171. EDN YRMSDB.

20. Tatarincev A. I., Aminev P. I. Porazhennost' sosnyakov smolyanym rakom na territorii Krasnoyarskogo Priangar'ya: ekologo-cenoticheskie osobennosti rasprostranennosti bolezni // Hvojnye boreal'noj zony. 2014. T. 32, № 3-4. S. 58–65. EDN TUIPJD.

21. Tatarincev A. I., Kulakova N. N. Sanitarnoe sostoyanie rekreacionnyh sosnyakov v podtaezhnyh lesah prigoroda Krasnoyarska // Biosfera. 2023. T. 15, № 4. S. 349–357. DOI 10.24855/biosfera.v15i4.865353. EDN OQMLMV.

22. Tatarincev A. I. Ekologo-lesovodstvennye osobennosti sanitarno-fitopatologicheskogo sostoyaniya antropogennogo narushennyh nasazhdenij Srednej Sibiri : avto-referat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora biologicheskikh nauk: 06.03.02 : zashchishchena 25.06.2020 / A. I. Tatarincev ; [nauchnyj konsultant I. N. Pavlov ; opponenty: A. Yu. Kulagin, V. V. Caralunga, A. V. Dancheva] ; Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet. Ekaterinburg, 2020. 39 s. Tekst : elektronnyj.

23. Ob osobo ohranyaemyh prirodnym territoriyah : Federal'nyj zakon ot 14.03.1995 № 33-FZ (red. ot 01.01.2025). [Elektronnyj resurs]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102034651>.

© Евдокимова Л. С., Татаринцев А. И.,
Зленко Л. В., 2025

Поступила в редакцию 30.07.2025

Принята к печати 02.12.2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЕРНОСТЬ ПРЕДСКАЗАНИЯ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Гусейн Закир оглы Байрамов

Национальное Аэрокосмическое Агентство
Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. С. Ахундова, AZ 1115

Аннотация. Статья посвящена исследованию проблемы влияния метеофакторов на вероятность возникновения лесных пожаров. Сформулирована частная задача исследования влияния взаимосвязи относительной влажности воздуха и удельной влажности, при которой появляется дополнительный фактор, содействующий возникновению лесных пожаров путем увеличения температуры воздуха. Составлена и решена вариационная оптимизационная задача, решение которой при некотором ограничительном условии позволяет вычислить оптимальную взаимосвязь относительной влажности и удельной влажности при которой температура воздуха достигает максимальной величины. Данный фактор может быть рассмотрен в качестве дополнительного фактора содействующего возникновению лесных пожаров.

Ключевые слова: метеофактор, оптимизация, лесные пожары, влажность воздуха, функционал цели.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 64–67

STUDY OF THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL FACTORS ON THE ACCURACY OF PREDICTION AND THE ORIGIN OF FOREST FIRES

Huseyn Zakir oglu Bayramov

National Aerospace Agency
AZ 1115, Baku, S. Akhundova Str., Republic of Azerbaij

Abstract. The article is devoted to the study of the influence of meteorological factors on the probability of forest fires. A particular problem of studying the influence of the correlation between relative air humidity and specific humidity is formulated, at which an additional factor appears that contributes to the occurrence of forest fires by increasing the air temperature. A variational optimization problem is compiled and solved, the solution of which under a certain restrictive condition allows calculating the optimal correlation between relative humidity and specific humidity at which the air temperature reaches its maximum value. This factor can be considered as an additional factor contributing to the occurrence of forest fires.

Keywords: meteorological factor, optimization, forest fires, air humidity, objective functionality.

ВВЕДЕНИЕ

Как отмечается в работе [1] для предотвращения лесных пожаров необходимо усилить все противопожарные меры в отношении лесной экосистемы. Значение лесной экосистемы заключается не только в снабжении населения древесиной, но и в генерации кислорода, регулировании климата, поддержании почвы, предотвращении эрозии почвы, очищении воздуха и др. [2]. Леса играют важную роль в выживании людей и являются важным экологическим, экономическим и социальным фактором, необходимым для поддержания человеческой жизни [3]. По этой причине разработка высокоточных методов и систем для предсказания лесных пожаров имеет важное значение [4]. Используемые в настоящее время технические средства и технологии предсказания лесных пожаров включают спутниковое дистанционное зондирование, воздушную разведку, мониторинг средствами низколетящих средств, использование наблюда-

тельных вышек, беспроводных сенсорных сетей, проведение видео съемок и др.

Спутниковые методы включают проведение съемок в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах для идентификации лесных пожаров [5]. По сравнению с наблюдательными вышками [6], беспроводные измерительные сети используются сравнительно недавно и предназначены для измерения таких физических показателей как температура, влажность воздуха, давление, скорость ветра, концентрацию CO₂. Такие сети также способны детектировать дым и пламя [7].

Методы предсказания лесных пожаров включают относительно простые Пуассоновские модели учета метеофакторов [8] и методы машинного обучения [9]. В работе [10] сообщается о разработке беспроводных измерительных сетей, способных выдать информацию о состоянии лесной среды. В работах [11; 12] был показан пример использования различных моделей машинного обучения, с учетом таких факторов, как

метеорология, топография, состояние растительности и др. Вместе с тем, модели, основанные на изучении влияния метеофакторов, остаются одним из основных методов предсказания лесных пожаров. Так, например, в работе [13] был предложен вероятностный метод для предсказания лесных пожаров путем анализа взаимосвязи между тремя метеофакторами: влажностью, концентрацией кислорода, и температурой.

В общем случае, как указывается в работе [14], лесные пожары возникают в результате воздействия как природных, так и антропогенных факторов. Поэтому прогноз лесных пожаров должен включать также анализ географической среды и пространственную информацию о предыдущих лесных пожарах.

Так, например, согласно работе [15], основные факторы, влияющие на предсказание лесных пожаров, следующие:

- температура;
- атмосферное давление;
- относительная влажность;
- скорость ветра;
- осадки;
- покрытие растительностью;
- NDVI;
- содержание влаги;
- способность воспламенения;
- покатость рельефа;
- расстояние до железной дороги;
- расстояние до автодороге;
- расстояние до реки.

Несмотря на вышеприведенный расширенный список факторов учитываемых при предсказании лесных пожаров, согласно [16], основными факторами влияющими на прогнозы и предсказания лесных пожаров являются метеофакторы: температура, атмосферное давление, относительная влажность, скорость ветра и осадки. В соответствии с Китайской Системой Распространения Интегрированной Метеорологической информации (CIMISS) существует следующая связь между температурой, удельной влажностью и относительной влажностью и давлением воздуха:

$$RH = \frac{(T - 273,5)P \cdot 6,112}{[0,278(T - 273,5) + 0,622]} \exp\left(\frac{17,675SH}{SH + 243,5}\right), \quad (1)$$

где T – температура в Кельвинах; P – атмосферное давление в Паскалях; SH – удельная влажность, в кг/кг; RH – относительная влажность. В формуле (1) SH учитывает содержание влаги в воздухе. Отметим, что абсолютная влажность показывает массу водяного пара в единичном объеме воздуха и определяется как отношение абсолютной влажности воздуха к плотности насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах.

Насыщенный пар является таким состоянием пара, в котором количество испаряющихся молекул равно количеству конденсирующихся за единицу времени молекул.

Целью настоящей статьи является анализ взаимосвязи показателей RH , P , T , SH при которой при условии постоянства атмосферного давления среднеинтегральное значение температуры мог бы достичь максималь-

ной величины. Задачей исследования является вычисление оптимального вида взаимосвязи RH и SH при которой следовало бы ожидать появления максимальной величины температуры, при условиях наложения некоторого интегрального ограничительного условия на функциональную зависимость $RH = f(SH)$.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи, в качестве базового воспользуемся выражением (1), преобразованным в следующий вид

$$\alpha = \frac{6,112}{RH} \exp\left[\frac{17,685SH}{SH + 243,5}\right], \quad (2)$$

где

$$\alpha = \left[\frac{0,278}{P} + \frac{0,622}{P(T - 273,5)} \right]. \quad (3)$$

Очевидно, что при условии $P = \text{const}$, показатель α будет полностью определяться величиной T в обратном порядке, т. е. минимум α будет означать максимум T и наоборот. Далее, введя на рассмотрение функциональную связь

$$RH = f(SH) \quad (4)$$

можно вычислить среднеинтегральную величину α , т. е.

$$\alpha_{\text{cp}} = \frac{1}{\Delta SH} \int_{SH_{\min}}^{SH_{\max}} \frac{0,112}{f(SH)} \exp\left[\frac{17,685SH}{SH + 243,5}\right] dSH. \quad (5)$$

Таким образом, задачей исследования является вычисление такой функциональной зависимости $f(SH)_{\text{opt}}$, при которой α_{cp} достиг бы минимума, а следовательно температура воздуха достигла бы максимума. Следовательно, поиску подлежит такая функциональная связь $f(SH)_{\text{opt}}$, которая может быть охарактеризована как дополнительный фактор, содействующий возникновению лесных пожаров.

Для решения поставленной выше задачи наложим на функцию (4) следующее интегральное ограничительное условие

$$\int_{SH_{\min}}^{SH_{\max}} f(SH) dSH = C; C = \text{const}. \quad (7)$$

Физический смысл условия (7) заключается в том, что при изменении SH в пределах $(SH_{\min} - SH_{\max})$ суммарная величина RH остается постоянной величиной.

Чисто математически условие (7) указывает на необходимость выбора функции $f(SH)_{\text{opt}}$ в пределах некоторого подкласса входящего в класс непрерывных и дважды дифференцируемых функций, который формируется их числа функций $f(SH)$, удовлетворяющих условию (7).

С учетом выражений (5) и (7) составим целевой функционал F безусловной вариацию

$$F = \frac{1}{\Delta SH} \int_{SH_{\min}}^{SH_{\max}} \frac{0,112}{f(SH)} \exp\left[\frac{17,685SH}{SH + 243,5}\right] dSH +$$

$$+\lambda \left[\int_{SH \min}^{SH \max} f(SH) dSH - C \right], \quad (8)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Решение задачи (8) согласно [17] удовлетворяет условию:

$$d \frac{\left\{ \frac{0,112}{f(SH)} \exp \left[\frac{17,685 SH}{SH + 243,5} \right] + \lambda f(SH) \right\}}{df(SH)} = 0. \quad (9)$$

Из условия (9) получаем

$$-\frac{a_1}{\Delta SH \cdot RH^2(SH)} \left(\frac{a_2 SH}{SH + a_2} \right) + \lambda = 0. \quad (10)$$

В выражении (10) для удобства записи приняты следующие обозначения: $a_1 = 6,112$; $a_2 = 17,675$; $a_3 = 243,5$.

Из выражения (10) находим

$$RH(SH) = \sqrt{\frac{a_1 a_2 SH}{\lambda (SH + a_2) \Delta SH}}. \quad (11)$$

При решении (11) целевой функционал F достигает минимума. Это легко проверить по признаку Лагранжа, вычислив производную (10) по искомой функции, результат которой оказывается положительной величиной.

Для вычисления множителя Лагранжа λ можно воспользоваться выражениями (7) и (11). Учитывая (11) в (7) получаем

$$\int_{SH \min}^{SH \max} \sqrt{\frac{a_1 a_2 SH}{\lambda (SH + a_2) \Delta SH}} dSH = C. \quad (12)$$

Из выражения (12) находим

$$\lambda = \left[\frac{\sqrt{a_1 a_2}}{C \sqrt{\Delta SH}} \int_{SH \min}^{SH \max} \sqrt{\frac{SH}{(SH + a_2)}} dSH \right]^2. \quad (13)$$

Учитывая выражение (13) в (11) окончательно получим

$$RH(SH) = \frac{C \sqrt{\frac{SH}{(SH + a_2)}}}{\int_{SH \min}^{SH \max} \sqrt{\frac{SH}{(SH + a_2)}} dSH}. \quad (14)$$

Таким образом, при условиях $P = \text{const}$, и ограничительном условии (7) функциональная зависимость (14) может быть рассмотрен в качестве дополнительного фактора, содействующего возникновению лесных пожаров.

ОБСУЖДЕНИЕ

Подробно рассмотрены основные методы и технические средства предсказания лесных пожаров, а также факторы содействующие возникновению возгораний в лесу. Сформулирована задача исследования воздействия вида взаимосвязи относительной влажности воздуха и удельной влажности, при котором

появляется дополнительный стимул для возникновения лесных пожаров в виде максимизации температуры воздуха. Составлена и решена вариационная оптимизационная задача, учитывающая принятое интегральное ограничительное условие, а также условие постоянства атмосферного давления. Решение задачи оптимизации при указанных условиях позволило вычислить оптимальную взаимосвязь относительной влажности и удельной влажности при которой температура воздуха достигает максимальной величины. Отмечено, что вычисленная взаимосвязь RH и SH может быть рассмотрена в качестве дополнительного фактора, воздействующего на вероятность возникновения лесных пожаров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Метеорологические факторы, а также вид взаимосвязи между этими факторами являются основными параметрами, влияющими на вероятность появления лесных пожаров.

1. Выявлена некоторая взаимосвязь между RH и SH при которой при определенных ограничительных условиях температура воздуха может в среднеинтегральном смысле достичь максимума.

2. Указанная взаимосвязь между RH и SH может быть рассмотрена в качестве дополнительного фактора появления лесных пожаров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Feurdean, A.; Vannière, B.; Finsinger, W.; Warren, D.; Connor, S. C.; Forrest, M.; Liakka, J.; Panait, A.; Werner, C.; Andrić, M.; et al. Fire hazard modulation by long-term dynamics in land cover and dominant forest type in eastern and central Europe. *Biogeosciences* 2020, 17, 1213–1230.
2. Földi, L.; Kuti, R. Characteristics of forest fires and their impact on the environment. *Acad. Appl. Res. Mil. Public Manag. Sci.* 2016, 15, 5–17.
3. Hanewinkel, M.; Hummel, S.; Albrecht, A. Assessing natural hazards in forestry for risk management: A review. *Eur. J. For. Res.* 2011, 130, 329–351.
4. Tuyen, T. T.; Jaafari, A.; Yen, H. P. H.; Nguyen-Thoi, T.; van Phong, T.; Nguyen, H. D.; van Le, H.; Phuong, T. T. M.; Nguye, S. H.; Prakash, I.; et al. Mapping Forest Fire Susceptibility Using Spatially Explicit Ensemble Models Based On The Locally Weighted Learning Algorithm. *J. Abbr.* 2021, 63, 101292.
5. Yuan, C.; Zhang, Y.; Liu, Z. A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Can. J. For. Res.* 2015, 45, 783–792.
6. Sun, F.; Yang, Y.; Lin, C.; Liu, Z.; Chi, L. Forest fire compound feature monitoring technology based on infrared and visible binocular vision. *J. Phys. Conf. Ser.* 2021, 1792, 012022.
7. Singh, P.K.; Sharma, A. An insight to forest fire detection techniques using wireless sensor networks. In *Proceedings of the International Conference on Signal Processing, Computing and Control*, Solan, India, 21–23 September 2017.
8. Jiang, Y.; Zhuang, Q.; Mandallaz, D. Modeling large fire frequency and burned area in canadian

terrestrial ecosystems with poisson models. *Environ. Model. Assess.* 2012, 17, 483–493.

9. Stojanova, D.; Panov, P.; Kobler, A.; Džeroski, S.; Taškova, K.; Katerina, T. Learning to predict forest fires with different data mining techniques. In *Proceedings of the Conference on Data Mining and Data Warehouses*, Barcelona, Spain, 12–15 December 2006.

10. Dampage, U.; Bandaranayake, L.; Wanasinghe, R.; Kottahachchi, K.; Jayasanka, B. Forest fire detection system using wireless sensor networks and machine learning. *Sci. Rep.* 2022, 12, 46.

11. Ghaderizadeh, S.; Abbasi-Moghadam, D.; Sharifi, A.; Tariq, A.; Qin, S. Multiscale dual-branch residual spectral-spatial network with attention for hyperspectral image classification. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2022, 15, 5455–5467.

12. Pang, Y.; Li, Y.; Feng, Z.; Feng, Z.; Zhao, Z.; Chen, S.; Zhang, H. Forest Fire Occurrence Prediction in China Based on Machine Learning Methods. *Remote Sens.* 2022, 14, 5546.

13. Zhang, F.; Zhao, P.; Xu, S.; Wu, Y.; Yang, X.; Zhang, Y. Integrating multiple factors to optimize watchtower deployment for wildfire detection. *Sci. Total Environ.* 2020, 737, 139561.

14. Román-Cuesta, R. M.; Gracia, M.; Retana, J. Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecol. Appl.* 2003, 13, 1177–1192.

15. Cao Y., Zhou X., Yu Y., Rao S., Wu Y. Forest fire prediction based on time series networks and remote sensing images // *Forests* 2024. 15. 1221.

16. Tošić, I.; Mladjan, D.; Gavrilov, M. B.; Živanović, S.; Radaković, M. G.; Putniković, S.; Petrović, P.; Mistrđželović, I. Potential influence of meteorological variables on forest fire risk in Serbia during the period 2000–2017. *Open Geosci.* 2019, 11, 414–425.

17. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М. : Наука, 1974. С. 432.

REFERENCE

1. Feurdean, A.; Vannière, B.; Finsinger, W.; Warren, D.; Connor, S. C.; Forrest, M.; Liakka, J.; Panait, A.; Werner, C.; Andrić, M.; et al. Fire hazard modulation by long-term dynamics in land cover and dominant forest type in eastern and central Europe. *Biogeosciences* 2020, 17, 1213–1230.

2. Földi, L.; Kuti, R. Characteristics of forest fires and their impact on the environment. *Acad. Appl. Res. Mil. Public Manag. Sci.* 2016, 15, 5–17.

3. Hanewinkel, M.; Hummel, S.; Albrecht, A. Assessing natural hazards in forestry for risk management: A review. *Eur. J. For. Res.* 2011, 130, 329–351.

4. Tuyen, T. T.; Jaafari, A.; Yen, H. P. H.; Nguyen-Thoi, T.; van Phong, T.; Nguyen, H. D.; van Le, H.; Phuong, T. T. M.; Nguye, S. H.; Prakash, I.; et al. Mapping Forest Fire Susceptibility Using Spatially

Explicit Ensemble Models Based On The Locally Weighted Learning Algorithm. *J. Abbr.* 2021, 63, 101292.

5. Yuan, C.; Zhang, Y.; Liu, Z. A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Can. J. For. Res.* 2015, 45, 783–792.

6. Sun, F.; Yang, Y.; Lin, C.; Liu, Z.; Chi, L. Forest fire compound feature monitoring technology based on infrared and visible binocular vision. *J. Phys. Conf. Ser.* 2021, 1792, 012022.

7. Singh, P. K.; Sharma, A. An insight to forest fire detection techniques using wireless sensor networks. In *Proceedings of the International Conference on Signal Processing, Computing and Control*, Solan, India, 21–23 September 2017.

8. Jiang, Y.; Zhuang, Q.; Mandallaz, D. Modeling large fire frequency and burned area in canadian terrestrial ecosystems with poisson models. *Environ. Model. Assess.* 2012, 17, 483–493.

9. Stojanova, D.; Panov, P.; Kobler, A.; Džeroski, S.; Taškova, K.; Katerina, T. Learning to predict forest fires with different data mining techniques. In *Proceedings of the Conference on Data Mining and Data Warehouses*, Barcelona, Spain, 12–15 December 2006.

10. Dampage, U.; Bandaranayake, L.; Wanasinghe, R.; Kottahachchi, K.; Jayasanka, B. Forest fire detection system using wireless sensor networks and machine learning. *Sci. Rep.* 2022, 12, 46.

11. Ghaderizadeh, S.; Abbasi-Moghadam, D.; Sharifi, A.; Tariq, A.; Qin, S. Multiscale dual-branch residual spectral-spatial network with attention for hyperspectral image classification. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2022, 15, 5455–5467.

12. Pang, Y.; Li, Y.; Feng, Z.; Feng, Z.; Zhao, Z.; Chen, S.; Zhang, H. Forest Fire Occurrence Prediction in China Based on Machine Learning Methods. *Remote Sens.* 2022, 14, 5546.

13. Zhang, F.; Zhao, P.; Xu, S.; Wu, Y.; Yang, X.; Zhang, Y. Integrating multiple factors to optimize watchtower deployment for wildfire detection. *Sci. Total Environ.* 2020, 737, 139561.

14. Román-Cuesta, R. M.; Gracia, M.; Retana, J. Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecol. Appl.* 2003, 13, 1177–1192.

15. Cao Y., Zhou X., Yu Y., Rao S., Wu Y. Forest fire prediction based on time series networks and remote sensing images// *Forests* 2024. 15. 1221.

16. Tošić, I.; Mladjan, D.; Gavrilov, M. B.; Živanović, S.; Radaković, M. G.; Putniković, S.; Petrović, P.; Mistrđželović, I. Potential influence of meteorological variables on forest fire risk in Serbia during the period 2000–2017. *Open Geosci.* 2019, 11, 414–425.

17. Elsgolc L. E. Differencialnye uravneniya i variacionnoe ischislenie. M. : Nauka, 1974. S. 432.

© Байрамов Г. 3., 2025

ПРОБЛЕМАТИКА ВОЗОБНОВЛЕНИЯ КЕДРОВНИКОВ В ГОРАХ ЮЖНОЙ СИБИРИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЛОДОНОШЕНИЯ

И. И. Брюханов, А. С. Шишкин

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: bruyhanov.ii@ksc.krasn.ru, shishikin@ksc.krasn.ru

Аннотация. Исследования показали, что сохранение подроста на вырубках 30-ти летней давности дало положительные результаты формирования плодоносящих кедровников. Организация орехопромысловых зон с запретом рубки кедров и его последующее усыхание привели к экономическим потерям ценной древесины и побочного ресурса прижизненного использования кедровых насаждений. Важной частью процесса восстановления кедровников является плодоношение. Возможность его прогнозируемости с помощью построения математических моделей, является актуальной задачей.

Ключевые слова: горы юга Сибири, усыхание кедровников, восстановление, подрост, потребители семян кедров, математическое моделирование прогноза плодоношения.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 68–73

PROBLEMS OF CEDAR FOREST REGENERATION IN THE MOUNTAINS OF SOUTHERN SIBERIA, FRUITING FORECASTING

I. I. Bryukhanov, A. S. Shishikin

Sukachev Forest Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences
50/28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation
E-mail: bruyhanov.ii@ksc.krasn.ru, shishikin@ksc.krasn.ru

Abstract. The studies have shown that preservation of undergrowth on 30-year old clearcuts gave positive results in formation of fruit-bearing cedar forests. Organization of nut-producing zones with prohibition of cedar cutting and its subsequent desiccation resulted in economic losses of valuable timber and a side resource of lifetime use of cedar plantations. An important part of the process of cedar forest restoration is fruiting. The possibility of its predictability by means of building mathematical models is an urgent task.

Keywords: mountains of southern Siberia, cedar forests drying up, restoration, juveniles, consumers of cedar seeds, mathematical modeling of fruiting forecast.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуально возобновление сосны кедровой сибирской (кедр сибирский, *Pinus sibirica* Du Tour) после повреждения корневыми патогенами и рубками темнохвойных древостоев, в составе которых кедр сибирский также представлен. Естественное возобновление кедров отличается в зависимости от мест произрастания [Лузганов, Абаймов, 1977; Савина, 1976]. Нами выделяется три экологические формы кедров. Они отличаются по условиям возобновления, роста и формированием кроны. Прямое возобновление кедров (сосновый тип) на горах характерно для Восточного Саяна и происходит с помощью кедровки зоохорным путем. Подпоговое возобновление характерно для крупнотравных типов леса на вырубках с листовым возобновлением, с формированием кедром узкой кроны, стадийно старые, пораженные гнилью. Вдоль рек по береговым валам, формируются кедровники редкостойные, распространены

в Западной Сибири, кедр разносится с помощью воды (гидрохорное распространение). В нашей работе рассматриваются первые две формы.

В крупнотравных типах леса нет кедрового подраста, а при участии в составе листовых пород (дающих при рубке поросль и быстром зарастании лесосек крупнотравьем) возобновление кедров невозможно и происходит только под пологом в жердняковой, мертвопокровной стадии порослевого возобновления листовых пород или созданием лесных культур кедров. При этом лесные культуры кедров создаются в нескольких вариантах: на бульдозерных площадках; под защитой кедровых пней и обработка семян (орехов) не поедаемым конкурентами составом [Павлов и др., 2009]. Второй способ более предпочтителен, поскольку позволяет экономить посадочный материал, гарантирует успешность возобновления кедров и имитирует зоохорную гнездовую посадку семян кедровкой [Лоскутов, 1971]. Несмотря на частое и

обильное плодоношение кедра, в гумидной зоне Западного Саяна и в крупнотравных типах леса высокая плотность потребителей кедрового ореха (в 1,5–2 раза выше при отсутствии динамики численности), что исключает формирование достаточного количества подроста для смены (замены) материнского полога [Владышевский, 1980; Семечкин, 1964; Семечкин, 2002; Сташкевич, Шишкин, 2014; Штильмарк, 1966]. Перечисленные обстоятельства не позволяют в крупнотравных типах гумидного пояса прогнозировать успешность естественного предварительного возобновления кедров.

В пирогенных условиях (большая часть Восточных Саян (мелкотравные и зеленомошные группы типов леса)) кедр успешно возобновляется на гарях, вырубках и под материнским пологом [Иванов, Иванова, 2010; Коновалова, 2015]. Этому способствует породный состав (отсутствие лиственных), наличие подроста и низкая плотность потребителей орехов, особенно на свежих гарях. Задача при заготовке кедровой древесины материнского полога в сохранении подроста, что значительно сокращает срок (на 30–40 лет) гарантированного возобновления кедровников.

Благие намерения сохранить кедр сибирский как вид, обернулись для него трагедией. В итоге рубка кедров не остановлена, выделенная орехо-промысловая зона превратилась в место экологической катастрофы. В настоящее время кедровники стали массово (до одного млн га только в Хакасии) сохнуть с потерей ресурсных и средообразующих свойств. Кедровое хозяйство стали вести за счет других древесных пород. Если рубки имели технологические ограничения, пожары – географические, то усыхание происходит в любом ландшафте без известных (нормативных) правил. Остановить гибель старовозрастных кедровников, очевидно, невозможно, но их восстановление – актуальная задача современного лесоводства. Самовоспроизводство – основное свойство лесных экосистем. Оно начинается с плодоношения и формирования подроста, поэтому им уделяется больше внимания. Моделирование этих процессов с учетом натурных данных и климатических изменений в ареале кедров – одна из сложных задач экологии.

ЦЕЛЬ, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель проведенных исследований – анализ возможности возобновления усыхающих кедровников, математическое прогнозирование плодоношения кедров сибирского.

Полевой материал собран и сделаны выводы по южной части (гумидной) восточного макросклона Кузнецкого Алатау и Западного Саяна (Матурское и Копьевское лесничества) с характерным влажным климатом, преобладанием высокотравных типов леса и рубок с доминированием порослевого лиственного возобновления. Второй объект – кедровые леса северного макросклона Восточного Саяна, где преобладает «сосновый», мелкотравно-бадановый тип горных кедровников с периодическим прогоранием и прямым возобновлением кедров (Абазинское лесничество).

В двух географически разных объектах, отличающихся по режиму увлажнения, обследовано по три группы типов насаждений (зеленомошные, черничные, травянистые), сплошные и выборочные санитарные, а для заготовки древесины – бессистемные рубки. На них оценивалось физиологическое состояние вырубленных деревьев, их состояние, а также густота и жизнеспособность подроста [Мурзакматов, 2012]. Выяснялись причина и скорость гибели кедровых насаждений.

С помощью ловушек Геро проведен учет мелких млекопитающих (ММ) как основных потребителей кедровых орехов. По методике ловчие линии закладывались в центре рубок и в качестве фона на прилегающих насаждениях. Как показали предшествующие исследования, необходимо размещать ловушки далее 100 м от опушки (стены леса) [Хлебников, 1977]. Это позволяло оценить реакцию ММ на рубку кедровников и возможное изъятие семян. Всего заложено четыре площадки с экспонированием двое суток (360 лов.-суток). Отлов поведился в июле–августе 2012 г.

Не зависимо от географического положения все деревья засохли сразу, без снижения радиального прироста в последние годы. Подобные явления мгновенного и массового усыхания деревьев пихты и кедров не наблюдались ранее, что свидетельствует о наличии другого фактора, влияющего на ослабление физиологического состояния деревьев и не возможности классического последующего повреждения луба и древесины ксилофагами.

Плодоношение кедров – прогнозируемое явление, но разнос и образование жизнеспособного подроста кедров сибирского – сложные процессы [Сташкевич, Шишкин, 2014]. Многочисленные попытки и варианты (включая наши эксперименты) посева семян кедров оказались безуспешными [Лоскутов и др., 1971].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На лесосеке (Матур) и прилегающих фоновых, кедровых насаждениях, при проведении учёта ММ установлено, что выше плотность ММ на лесосеке, очевидно трелёвкой разрушены укрытия ММ (70 % лесосеки минерализовано, сплошная разработка без пазов) и у них повысилась двигательная и трофическая активность.

Оставшийся кедровник разновозрастный, разреженный, высокотравный, черемуховый. В подросте редко встречается пихта и очень редко на валеже (микрорывинах) отмечался подрост кедров, что указывает на трудности предварительного возобновления кедров. Подгольцовый кедровник перестойный имеет канделябровую крону генеративного яруса. Выдел в рубку отдавали с породным составом по лесостроительным данным 8П2К, на лесосеке по пенькам – 7К3П, а в штабеле на вывозку – 9К1П. Формально правильно, а на практике вырубается старовозрастный кедровник с проблемным возобновлением. Усыхание таких кедровников происходит на уровне естественного отпада, массовых усыханий насаждений под гольцами нет, но оно распространено в средне-горном поясе.

В высокотравных кедровниках Кузнецкого Алатау кедровый подрост отсутствует и следует рекомендовать искусственное возобновление или ждать (20–40 лет) когда произойдёт смыкание листового подростка на вырубках и подавление травостоя. Возобновление кедра возможно только при катастрофическом прогорании территории. В этих условиях необходимо рекомендовать создание лесных культур крупномерными саженцами кедра под защитой пней [Павлов и др., 2009].

Обследование вырубленных кедровников Кузнецкого Алатау показало высокую изначальную фаутистность и распространение пневой гнили (средний возраст деревьев 220 и более лет). Поражение комлевой части ствола более выражено и естественно для старовозрастных кедровников, и не связано с диаметром пней.

Учет мышевидных в зоне произрастания мелко-травных лесов, на сплошной зимней санитарной вырубке (Абазинское лесничество) и прилегающем кедровнике показали одинаковые результаты. При этом относительная численность мышевидных соответствовала средним показателям характерным для кедровника зеленомошного (13–36 особей/100 лов.-суток).

Как показали прежние исследования на вырубках, можно предположить, что плотность ММ быстро (один вегетационный период) выравнивается и соответствует емкости новых условий обитания [Шишкин и др., 2014]. Количества ММ на вырубках достаточно, чтобы остановить последующее семенное возобновление кедра [Владышевский, 1980; Лоскутов, 1971]. Следует учесть, что на свежей вырубке в первые 1–2 года отсутствует травянистый корм и усиливается трофическое давление ММ на семенной генофонд хвойных.

В Абазинском лесничестве при обследовании сплошной санитарной вырубки кедра (средний возраст деревьев 120 лет) выявлено низкое распространение пневой гнили. Перечет подростка на зимней сплошной санитарной вырубке 2011 г. показал высокую сохранность на пасаках и достаточно большое количество всходов на волоках (1250 шт./га). Наблюдалась известная закономерность, чем выше и старше подрост, тем хуже его жизненное состояние и ниже сохранность при рубке. Подрост в возрасте до 5–6 лет практически не повреждается и при густоте свыше 600 экз./га может обеспечить естественное возобновление кедра на вырубке.

На зимней лесосеке 1991 года пройденной сплошной санитарной рубкой, возникла достаточно уникальная ситуация (последний раз 1981 г.), когда шишка оставалась в кроне всю зиму. Обычно урожай ореха, упавший на землю, быстро съедается ММ и не участвует в формировании возобновления. Однако оставшиеся в кроне шишки и уплотнение снега на волоках, которое ограничило передвижение мышевидных, обеспечили появление всходов и послужило обоснованием нашего эксперимента по весеннему посеву семян кедра на волоках лесосек.

Учет подростка кедра на круговых площадках под пологом усыхающих зеленомошно-вейниковых кедр-

овников (Абазинское лесничество) выявил его достаточное количество (1008 шт./га) и хорошее жизненное состояние [Мурзакматов, 2012]. При среднем возрасте 14.6 лет высота подростка составляет 1.6 м. После усыхания крон материнского полога и увеличения освещенности наблюдается двукратное увеличение прироста, которое превосходит 40 см/год. Участки насаждений с крупномерным подростом кедра не следует передавать в санитарную рубку, поскольку нельзя обеспечить его сохранность.

При оптимальном развитии кедра, по нашим данным, основные биологические циклы составляют 3–4 года. В настоящее время плодоносить кедру становится все сложнее, из-за влияния микроклиматических, проявления локальных погодных факторов и отсутствия благоприятной цикличности погодных условий. Климат меняется, весна наступает раньше, а осень позже, нарушаются привычные ритмы сезонного развития дерева, к которым адаптировано плодоношение. Различные погодные факторы влияют, когда формируются женские и мужские шишки, режим их опыления. Именно репродуктивные циклы двухлетнего формирования урожая кедра наиболее уязвимы для негативного внешнего воздействия – низкой или высокой температуры, нехватки или избытка осадков (Велисевич, 2024).

Потепление климата негативно влияет на скорость естественного возобновления кедра сибирского. Хуже всего адаптируются особи, произрастающие на краю ареала, они оказываются уязвимыми перед ограничивающими факторами климатических изменений (патогенными грибами, насекомыми-вредителями, пожарами) [Жук, 2025].

Несмотря на сложность прогнозируемости плодоношения сосны сибирской кедровой, в качестве гипотезы предполагаем, что есть возможность использования метода математического моделирования [Брюханов, 2021].

Дождливая, жаркая и засушливая погода неблагоприятна для плодоношения сосны сибирской кедровой. Существует взаимосвязь, по которой холод и дожди в мае и июне одного года отрицательно влияют на урожай текущего года и двух последующих за ним лет. Чтобы сформировался хороший урожай, требуется умеренно тёплая и относительно сухая погода в период закладки женских шишек и их опыления, а также достаточно влажная в период развития будущей шишки. Если условия оптимальные и в пределах нормы, возможно с высокой вероятностью (до 85 %) предположить хорошую урожайность (с поправкой на непредвиденные обстоятельства).

Попробуем на основе данного описания составить формулу плодоношения сосны сибирской кедровой (1). Она учитывает многие природные факторы, влияющие на плодоношение. Урожай (Y_t) в заданном году (t), зависит от климатических условий (C_t) в конце мая – начале июня года (t), выраженные шкалой от «–1» (неблагоприятные) до «+1» (оптимальные). В формуле возможно присутствие функций, отображающих влияние климата рассматриваемого года ($f(C_t)$) на урожай, за предыдущий год ($f(C_{t-1})$) и два года назад (C_{t-2}). Также возможно рассчитать

математическую модель на следующий год ($f(C_t + 1)$) и через год ($C_t + 2$). Кроме того, учтены веса влияния климатических условий (α, β, γ), параметры которых можно определить, используя метод наименьших квадратов, либо анализ временных рядов. Исходная (базовая) формула выглядит следующим образом:

$$Y_t = \alpha * f(C_t) + \beta * + \gamma, \quad (1)$$

Исходную (базовую) формулу возможно усовершенствовать, добавив функцию, которая моделирует влияние температуры и осадков в мае и июне на качество плодов текущего года ($f(T_{\text{май}}, R_{\text{май}}, T_{\text{июн}}, R_{\text{июн}})$). Также дополнительно ввести функцию отражающую влияние летней температуры и влажности на развитие озими и урожай в будущем ($f(T_{\text{лето}}, R)$), функцию учёта непредсказуемых условий, которые могут существенно повлиять на урожайность ($f(c_1, c_2, c_3)$). В усовершенствованной формуле коэффициенты (α, β) отражают влияние на урожай текущего года и будущих лет соответственно, а (γ) является базовым уровнем урожайности, определяемым оптимальными условиями. Кроме того, влияние каждой переменной на урожай возможно детализировать с помощью функции, например, гиперболической или экспоненциальной зависимости.

Таким образом, в модели учтены не только текущие климатические условия (прямое влияние на урожай), но и отсроченное влияние климатических условий на формирование шишек озими. Это позволяет учитывать, в том числе, накопленные эффекты.

Вышеизложенные модели плодоношения сосны сибирской кедровой представляют собой полуструктурированные математические модели с эмпирическим подходом, что указывает на логичное описание взаимосвязей между климатическими переменными и урожайностью. Основанием для построения моделей должны служить статистически подтверждённые данные и/или точная калибровка на исторических наблюдениях.

При оценке потенциальной достоверности по ключевым критериям, необходимо отметить, что модель не учитывает следующее:

- форс-мажорные лесопатологические факторы (болезни, вредители);
- пространственные различия (микроклимат, текущие локальные погодные изменения).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не снижающийся радиальный прирост во время гибели и низкая интенсивность заселения ксилофагами усыхающих кедровников указывают на отсутствие известных в настоящее время физиологических закономерностей массового отпада деревьев в горно – таёжном поясе. Теоретически можно предположить, что современные кедровники, продукт прежних климатических изменений и мы наблюдаем смену структуры насаждений. Одновозрастные кедровники одного поколения достигли предела своей устойчивости и включился естественный механизм их смены, с наложением современных климатических изменений. Причины воздействия таких изменений различны, и

они конкретны для данных условий. Для растительности не корректно использовать среднегодовые данные. Более информативны фенологические изменения вегетационного периода взятые непосредственно в анализируемом насаждении. В современной истории лесоведения высокая активность корневых патогенов (пожары и вспышки вредителей исключаются по географическому положению) и их роль в массовом отпаде кедровых и пихтовых насаждений встречается впервые. Следует отметить в других регионах иную последовательность и избирательность гибели древесных пород. На юге Енисейского края вначале повреждается пихта при наличии кедра, а в Саянах наоборот, что позволяет говорить о разных формах трофической активности корневых патогенов. Прогноз возобновления усыхающих кедровников в среднегорной части гумидного Западного Саяна и Кузнецкого Алатау резко отличается от мелкотравных типов кедровников. На второй территории, несмотря на редкие урожаи сосны сибирской, естественное возобновление в большинстве случаев обеспечено за счет формирования предварительного подроста. На первой – в крупнотравных типах возобновление кедра возможно только искусственным путем или естественно через смену древесных пород, но это может задержать возобновление кедра на 30–50 лет с формированием узкой кроны и не гарантированной густотой. Следует отметить, что вырубка нарушает естественный процесс возобновления и лесохозяйственные работы не могут компенсировать природные условия. Обследование концентрированных вырубок старше 20–30 лет и гарей после шелкопряда с листовым возобновлением, показало низкую долю кедра под его пологом. Культуры сосны сибирской, посаженные в бульдозерные площадки, также имели плохую приживаемость из-за плохих условий роста.

В качестве профилактических мер в борьбе с корневыми патогенами следует рекомендовать огневую очистку лесосек с частичным или полным выгоранием подстилки (природоподобная технология). Это позволит стерилизовать почвенный горизонт от грибов мицелиев и спровоцирует кедровку к «восстановлению кедра» на свежей гари.

Рубка древостоя, как и усыхание кедровников с последующим разрастанием травостоя способствует росту плотности населения потребителей кедровых орехов и соответственно исключает семенное возобновление кедра. В этих условиях перспективным становится сохранение подроста и создание ручным способом лесных культур кедра крупномерным материалом без затратной подготовки почвы.

Следует признать организацию орехо-промысловых зон в кедровниках юга Сибири с одновременным запретом рубки кедра (в связи с их массовым усыханием) неудачным производственным экспериментом, который привел к экономическим потерям не только ценной древесины, но и побочного ресурса прижизненного использования кедровников. Задача по сохранению биоразнообразия кедровников, а также их средообразующей роли путем организации орехо-промысловых зон в подгольцовых кедровниках юга

Сибири не выполнена. Причины не удачного производственного эксперимента требуют тщательного изучения, результаты должны найти отражения в нормативных документах и транслироваться на другие регионы с доминированием кедровых насаждений, учитывая их ландшафтные особенности.

Прогнозирование плодоношения кедра сибирского с помощью построения математических моделей, является перспективным направлением исследований. Необходимо учитывать, что при построении математической модели прогноза плодоношения, без эмпирической калибровки и адаптации к текущим данным, достоверность модели находится на уровне 60 %. Однако с использованием реальных данных можно повысить точность до 80–85 %, для текущего года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Брюханов И. И. Разработка имитационной модели динамики кедровых древостоев Восточного Саяна // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2021. № 6. С. 11–17.
2. Велисевич С. Н. Снижение урожайности кедра сибирского : офиц. сайт. ТНЦ СО РАН г. Томск. URL: <https://www.tsc.ru/>.
3. Жук Е. А. Потепление климата негативно влияет на скорость естественного возобновления кедра сибирского : офиц. сайт. ТНЦ СО РАН г. Томск. URL: <https://www.tsc.ru/>.
4. Владышевский Д. В. Экология лесных птиц и зверей (Кормодобывание и его биоценотическое значение). Новосибирск : Наука, 1980. 264 с.
5. Жук Е. А., Горошкевич С. Н. Изменчивость фенологических признаков у высотных экотипов кедра сибирского // Вестник ТГПУ. 2010. № 3 (93). С. 12–16.
6. Иванов В. А., Иванова Г. А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. 164 с.
7. Коновалова М. Е. Восстановительная динамика леса на сплошных вырубках горных кедровников Южной Сибири // Лесоведение. 2015. № 4. С. 267–274.
8. Лоскутов Р. И. Искусственное восстановление кедра сибирского. М. : Лесная промышленность, 1971. 105 с.
9. Лузганов А. Г., Абаимов А. П. Роль речных бассейнов и ветра в расселении и эволюции лиственниц, кедров сибирского и других древесных пород // Лиственница. Т. VIII. Межвузовский сборник научных трудов. Красноярск : СТИ, 1977. С. 31–38.
10. Мурзакматов Р. Т. Выборочно-статистический метод инвентаризации лесов Кыргызстана. Бишкек, 2012. 216 с.
11. Павлов И. Н., Барабанова О. А., Онучин А. А., Солдатов В. В. Новая технология осенних посевов сосны кедровой сибирской / И. Н. Павлов, О. А. Барабанова, А. А. Онучин, В. В. Солдатов // Хвойные бореальной зоны. 2009. Т. 26, № 2. С. 211–216.
12. Савина Л. Н. Новейшая история лесов Западного Саяна. Новосибирск, 1976. 156 с.
13. Семечкин И. В. Зависимость возобновления кедров сибирского от урожайности кедровников и чис-

ленности мышевидных грызунов // Природа и лесная растительность северной части Свердловской области. Свердловск, 1964. Вып. 1. С. 141–149.

14. Семечкин И. В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. 252 с.

15. Сташкевич Н. Ю., Шишкин А. С. Зоогенный фактор возобновления сосны кедровой сибирской в горно-таежных лесах Восточного Саяна // Сибирский экологический журнал. 2014. Т. 21, № 2. С. 313–318.

16. Хлебников А. И. Экология соболя Западного Саяна. Новосибирск : Наука. СО, 1977. 125 с.

17. Штильмарк Ф. Р. Мелкие грызуны в кедровниках Западного Саяна : автореф. канд. дис. Владивосток, 1966. 23 с.

18. Население мелких млекопитающих вырубках темнохвойных лесов Енисейского кряжа / А. С. Шишкин, Е. В. Екимов, Д. Н. Орешков, Е. С. Углова // Лесоведение. 2014. № 6. С. 56–61.

REFERENCES

1. Bryuhanov I. I. Razrabotka imitacionnoj modeli dinamiki kedrovych drevostoev Vostochnogo Sayana // Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. 2021. № 6. S. 11–17.
2. Velisevich S. N. Snizhenie urozhajnosti kedra sibirskogo : ofic. saj. TNC SO RAN g. Tomsk. URL: <https://www.tsc.ru/>.
3. Zhuk E. A. Poteplenie klimata negativno vliyaet na skorost estestvennogo vozobnovleniya kedra sibirskogo : ofic. saj. TNC SO RAN g. Tomsk. URL: <https://www.tsc.ru/>.
4. Vladyshevskij D. V. Ekologiya lesnyh ptic i zverej (Kormodobyvanie i ego biocenoticheskoe znachenie). Novosibirsk : Nauka, 1980. 264 s.
5. Zhuk E. A., Goroshkevich S. N. Izmenchivost fenologicheskikh priznakov u vysotnyh ekotipov kedra sibirskogo // Vestnik TGPU. 2010. № 3 (93). S. 12–16.
6. Ivanov V. A., Ivanova G. A. Pozhary ot groz v lesah Sibiri. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2010. 164 s.
7. Konovalova M. E. Vosstanovitel'naya dinamika lesa na sploshnyh vyrubkah gornych kedrovnikov Yuzhnoj Sibiri // Lesovedenie. 2015. № 4. S. 267–274.
8. Loskutov R. I. Iskusstvennoe vosstanovlenie kedra sibirskogo. M. : Lesnaya promyshlennost, 1971. 105 s.
9. Luzganov A. G., Abaimov A. P. Rol rechnykh bassejnov i vetra v rasselenii i evolyucii listvennic, kedra sibirskogo i drugih drevesnyh porod // Listvennica. T. VIII. Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. Krasnoyarsk : STI, 1977. S. 31–38.
10. Murzakmatov R. T. Vyborochno-statisticheskij metod inventarizacii lesov Kyrgyzstana. Bishkek, 2012. 216 s.
11. Pavlov I. N., Barabanova O. A., Onuchin A. A., Soldatov V. V. Novaya tehnologiya osennih posevov sosny kedrovoj sibirskoj // Hvojnye borealnoj zony. 2009. T. 26, № 2. S. 211–216.
12. Savina L. N. Novejshaya istoriya lesov Zapadnogo Sayana. Novosibirsk, 1976. 156 s.
13. Semechkin I. V. Zavisimost vozobnovleniya kedra sibirskogo ot urozhajnosti kedrovnikov i chislennosti

myshevidnyh gryzunov // Priroda i lesnaya rastitelnost severnoj chasti Sverdlovskoj oblasti. Sverdlovsk, 1964. Vyp. 1. S. 141–149.

14. Semechkin I. V. Struktura i dinamika kedrovnikov Sibiri. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2002. 252 s.

15. Stashkevich N. Yu., Shishikin A. S. Zoogennyj faktor vozobnovleniya sosny kedrovoj sibirskoj v gornotaezhnyh lesah Vostochnogo Sayana // Sibirskij ekologicheskij zhurnal. 2014. № 2. T. 21. S. 313–318.

16. Hlebnikov A. I. Ekologiya sobolya Zapadnogo Sayana. Novosibirsk : Nauka SO, 1977. 125 s.

17. Shtilmark F. R. Melkie gryzuny v kedrovnikah Zapadnogo Sayana : avtoreferat kand. dis. Vladivostok. 1966. 23 s.

18. Shishikin A. S., Ekimov E. V., Oreshkov D. N., Uglova E. S. Naselenie melkih mlekoopitayushih vyrubok temnohvojnyh lesov Enisejskogo kryazha // Lesovedenie. 2014. № 6. S. 56–61.

© Брюханов И. И., Шишкин А. С., 2025

Поступила в редакцию 17.06.2025
Принята к печати 02.12.2025

САМОЗАРАСТАНИЕ СОСНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗОЛОТОВАЛА

С. Л. Менщиков, П. Е. Мохначев, И. А. Неклюдов

Ботанический сад УрО РАН
ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук»
Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 202а
E-mail: m.sergei1951@yandex.ru, mohnachev74@mail.ru, Neklyudov87@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований особенностей процессов естественного зарастания сосной (*Pinus sylvestris* L.) рекультивированных территорий золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС. Исследованы участки, где биологический этап рекультивации включал нанесение слоя суглинка (20 см) и гидропосев многолетних трав. Показано, что через 8–12 лет после первого этапа биологической рекультивации наблюдается активное самозарастание древесными видами, преимущественно сосной (*Pinus sylvestris* L.), а также березой (*Betula pendula* Roth) и осиной (*Populus tremula* L.).

Проведен анализ агрохимических свойств золы и почвогрунта, выявлено снижение щелочности (рН с 9,0–10,0 до 7,8–8,5) и накопление органического вещества в процессе сукцессии. Установлено, что химический состав субстрата не содержит токсичных концентраций тяжелых металлов, что делает возможным успешное восстановление растительного покрова.

Установлена важность начального этапа рекультивации (гидропосев с внесением удобрений) для ускорения естественного зарастания древесными видами и формирования устойчивых фитоценозов.

Ключевые слова: золоотвал, биологическая рекультивация, самозарастание, *Pinus sylvestris*, сукцессия, агрохимические свойства золы и почвогрунта, травосмеси.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 74–79

SELF-OVERGROWING WITH COMMON PINE ON THE RECULTIVATED ASH DUMP AREA

S. L. Menshchikov, P. E. Mokhnachev, I. A. Neklyudov

Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
FGBUN “Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”
202a, 8 Marta str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
E-mail: m.sergei1951@yandex.ru, mohnachev74@mail.ru, Neklyudov87@mail.ru

*The article presents the results of studies of the features of natural overgrowth processes by pine (*Pinus sylvestris* L.) on the recultivated territories of the ash dump No. 2 Reftinskaya GRES. The sites where the biological stage of recultivation included applying a layer of loam (20 cm) and seeding perennial grasses were studied. It has been shown that 8–12 years after the first stage of biological recultivation, active self-overgrowing of woody species is observed, mainly pine (*Pinus sylvestris* L.), as well as birch (*Betula pendula* Roth) and aspen (*Populus tremula* L.).*

The analysis of agrochemical properties of ash and soil was carried out, a decrease in alkalinity (pH from 9.0–10.0 to 7.8–8.5) and accumulation of organic matter during the succession were revealed. It was found that the chemical composition of the substrate does not contain toxic concentrations of heavy metals, which makes possible the successful restoration of vegetation cover. The importance of the initial stage of recultivation (hydraulic sowing with fertilization) for accelerating the natural overgrowth of tree species and the formation of stable phytocenoses has been established.

Keywords: ash dump, biological recultivation, self-fertilization, *Pinus sylvestris*, succession, agrochemical properties of ash and soil, grass mixtures.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловые электростанции, работающие на угле, оказывают негативное воздействие на природную среду выбросами в атмосферный воздух различных соединений – газообразные, в основном это диоксиды серы и углерода, а также большое количество золы. Опасность золоотвалов прежде всего связана с пыле-

нием и фильтрацией жидкой фазы в окружающую среду, а основное внимание в процессе эксплуатации и консервации (рекультивации) золоотвалов уделяется пылеподавлению, способы которого разнообразны – от периодического орошения сухих пляжей или орошения поверхности зольного поля закрепляющими химикатами до закрепления поверхности золоот-

вала почвогрунтом с последующим его залужением. Особый интерес представляет изучение естественных процессов самозарастания золоотвалов древесными породами, в частности сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), как перспективного этапа биологической рекультивации.

Известно, что чистые зольные субстраты отличаются низкой микробиологической активностью, недостаточной обеспеченностью биогенными элементами, особенно доступным азотом и неблагоприятными физико-химическими свойствами [Малева М. Г., Чукина Н. В., ... и др., 2022]. На Урале изучались опытные и производственные культурфитоценозы, созданные в 1989–1996 гг. на золоотвалах, расположенных в разных зонально-географических районах Урала, в частности в пределах таежной (Серовский, Нижнетуринский, Верхнетагильский, Березниковский золоотвалы) зоны и лесостепной (Южноуральский, Красногорский золоотвалы) зоны [Махнев, Чибрик и др., 2002]. Это позволило выявить некоторые закономерности формирования растительного покрова на золоотвалах Урала (Пикалова, Серая, Пасынкова и др., 1974), которые сводились к следующему:

- процесс естественного самозарастания на «чистой» золе очень замедлен;
- созданные культурфитоценозы стимулируют и ускоряют этот процесс, но неустойчивы, наблюдается быстрое выпадение и изреживание ряда высеванных культур и энергичное внедрение представителей дикорастущей флоры. Независимо от цели, с которой создается растительный покров, во всех случаях обязательно улучшение свойств золы как субстрата для произрастания растений. В обобщенном виде можно утверждать, что рекомендуются и используются следующие способы улучшения золы;
- внесение полного минерального удобрения с последующими ежегодными подкормками растений;
- покрытие золоотвалов органическим материалом (торф, обезвреженный ил очистных сооружений и др.), почвой или потенциально плодородным грунтом (наиболее подходят для этих целей четвертичные суглинки);
- полив золоотвалов сточными водами, прошедшими через очистные сооружения.

Колонизация растительностью золоотвалов наблюдается только через 8–10 лет после прекращения их использования за счет 2–3 особо устойчивых видов [Тарчешский, 1964; Махнев, Чибрик и др., 2002]. Большую проблему создают и пыльные бури на золоотвалах, оказывая негативное воздействие на окружающие природные экосистемы на территории, во много раз превосходящие площади отвалов. Поэтому такие отвалы нуждаются в первоочередной биологической рекультивации.

К настоящему времени накоплен некоторый опыт по реставрации и консервации золоотвалов. Первоначальные предложения некоторых авторов [Thomson, 1958] о необходимости нанесения на золоотвалы 60 см подпочвы и 30 см почвы с внесением удобрений были явно экономически не выгодны и поэтому в основе дальнейших разработок методов рекультивации прослеживается тенденция к использованию неболь-

шого слоя почвенного или торфяного покрытия (2–3 см), применения различных отходов, и выявлению наиболее устойчивого ассортимента видов растений, пригодных для выращивания на чистой золе или золе с минимальным внесением различных добавок [Чибрик, 1970; Менщиков и др., 2022; Лукина Н. В., Глазырина М.А., и др. 2024].

Т. А. Прозоровой (1996) предлагается объединить методы биологической рекультивации с оперативным пылеподавлением: посев проводится с последующим или одновременным нанесением на поверхность золоотвала полимерной пленки, состоящей из лигносульфоната, полиакриламида и других соединений. Указанные компоненты смеси сравнительно дешевы.

В процессе подбора ассортимента видов растений, пригодных для выращивания на зольном субстрате, испытывалось огромное число растений. В частности, на промышленных отвалах Урала были испытаны 297 видов, относящихся к 80 родам 22 семейств. Испытания показали, что лучшие показатели дали семена местных районированных сортов. Посевы бобовых способствуют более быстрому заселению золоотвала другими видами, чем посевы злаков, что свидетельствует о более быстром улучшении свойств субстрата под ними [Тарчешский, 1964]. Среди бобовых наиболее пригодны для посевов люцерна синегибридная, клевер красный и донник белый, среди злаков – костреч безостый, овсяница луговая и красная, регнерия омская, пырей бескорневищный, ползучий, сизый и гребенчатый и некоторые другие [Беспрозвана, 1964; Хамидулина, 1964; Власова, 1964]. Особенности лесохозяйственного направления рекультивации изучались на золоотвале № 1 Рефтинской ГРЭС. Установлено, что после внесения суглинка или плодородного слоя, высаженные древесные виды вполне успешно произрастают в данных условиях [Махнев, Чибрик и др., 2002; Менщиков и др., 2022; Мигалина С. В., Калашникова И. В. и др.].

ЦЕЛЬ, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследований расположен в подзоне Южной Тайги на Среднем Урале. Целью работы является изучение процессов естественного зарастания сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) рекультивированных территорий золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС, включая анализ агрохимических свойств субстрата, оценку динамики сукцессии растительности.

Проведено натурное обследование территории сухого складирования, изучено состояние почвогрунтов и состояние растительного покрова участков золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС, где биологический этап рекультивации выполнен 3–12 лет назад. Площадь золоотвала № 2 Рефтинской ГРЭС на Урале в границах отведенных участков под золоотвал и его сооружения составляет около 1293,01 га.

На золоотвале № 2 на участке сухого складирования после проведенных мероприятий по рекультивации определено содержание макро- и микроэлементов, pH золы и суглинка, Содержание подвижных форм тяжелых металлов – кадмия, кобальта, хрома, меди, железа, никеля, свинца, марганца и цинка было

определено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с помощью атомно-абсорбционным спектрофотометра novAA-300 (AnalyticJena, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Агрохимические показатели почвогрунтов и удобрения.

На суглинок глубиной 20 см выполнен гидропосев многолетних трав подобранного ассортимента устойчивых видов к зонально-климатическим условиям района и экологическим условиям золоотвала, смешивая с торфом, азотным удобрением (аммиачная

селитра) и водой. Общий вид участка после биологического этапа рекультивации показан на рис. 1.

Результаты изучения химических свойств почвогрунта и золы.

Изучение состояния почвогрунтов на участках золоотвала № 2 показало следующее: почвогрунт представляет собой слой суглинка 20 см (рис. 2).

Сверху суглинка обнаружен нанесенный ветром слой золы 1–3 см.

Содержание макро и микро элементов, а также рН золы и суглинка после проведенных мероприятий по рекультивации (фото10) представлены в табл. 1 и 2.



Рис. 1. Участок сухого складирования золоотвала № 2 через 8–12 лет после биологического этапа рекультивации, 2025 год



Рис. 2. Слой суглинка

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвогрунте и золе на участке рекультивации золоотвал № 2 мг/кг

№	Место отбора	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Mn
1	Свежая чистая зола	0,27	0,00	0,53	1,89	0,0	0,28	0,00	15
2	Чистая зола, самозарастание	0,39	0,26	0,74	0,59	31,6	0,00	0,00	11
3	Крупная фракция золы	0,43	0,21	1,29	1,89	17,4	2,03	0,22	19
4	Рекультивация 2–3 года, верх зола над суглинком	0,00	0,30	0,43	0,70	17,9	0,17	0,43	30
5	Рекультивация 2–3 года, зола под суглинком 40 см глубина	0,08	0,52	1,07	1,06	14,7	0,53	не обнар.	12
6	Рекультивация 10 лет, зола сверху 1–2 см	0,11	0,01	не обнар.	0,33	9,7	не обнар.	не обнар.	32
7	Рекультивация 10 лет, зола под суглинком	0,20	0,0	1,68	0,91	47,7	0,68	не обнар.	9
8	Рекультивация 2–3 года, суглинок 15 см	0,00	не обнар.	1,35	0,87	8,1	2,35	не обнар.	36
9	Рекультивация 10 лет, суглинок 20 см	0,09	не обнар.	2,07	1,03	12,6	0,36	не обнар.	17

Таблица 2

Содержание макро- и микроэлементов в почвогрунте и золе на участке рекультивации золоотвал № 2 мг/кг

№	Место отбора	pH	Na	Zn	Ca	K	Mg
1	Свежая чистая зола	10,0	127	0,927	1700	28,6	780
2	Чистая зола, самозарастание	9,5	70,8	0,975	715	35,2	261
3	Крупная фракция золы, в чистой золе, вдоль дороги на 4 ярус	9,5	148	1,79	2280	44,4	1100
4	Рекультивация 2–3 года, верх зола над суглинком	9,1	71,4	1,26	1450	63,1	529
5	Рекультивация 2–3 года, зола под суглинком 40 см глубина	9,3	97,6	0,901	2920	38,2	868
6	Рекультивация 10 лет, зола сверху 1–2 см	8,8	68,4	1,64	1750	70,9	471
7	Рекультивация 10 лет, зола под суглинком	8,9	78,8	0,828	2350	20,3	621
8	Рекультивация 2–3 года, суглинок 15 см	8,5	147	0,504	2620	29,1	806
9	Рекультивация 10 лет, суглинок 20 см	8,2	99,6	0,446	1830	33,4	687



Рис. 3. Самозарастание сосной после посева многолетников через 8–12 лет

Анализ свежей золы уноса показал очень высокие показатели pH = 10,1, однако, со временем, данный показатель снижается до pH = 7,8–8,5, особенно под

суглинком. Тяжелых металлов и щелочно-земельных элементов в токсичных для растений концентрациях не обнаружено, как и не обнаруживалось и на золоот-

вале № 1. Таким образом, химические анализы почвогрунта на рекультивированном участке золоотвала № 2 показали возможность проведения мероприятий по биологической санитарно-гигиенической рекультивации после закрытия золы суглинком. Свежая зола имеет очень высокую pH = 9–10,5. В связи с этим свежая зола сама по себе токсична для корневой системы большинства растений. После внесения суглинка показатель pH золы через 3–10 лет снижается до 8,2–8,8.

Видовое разнообразие растений на участке биологической рекультивации на золоотвале № 2, территория сухого складирования.

На участках рекультивации, где через 8–12 лет после посева многолетников из древесных видов преобладает самосев *Pinus sylvestris* L. (cop1), встречаются *Betula pendula* Roth (см. рис. 3). Плотность самозарастания сосной исследуемого участка золоотвала составила 3360 шт/га, средняя высота – 1,57 + –0,52 м, средний возраст – 7,39 + –1,18 лет, средний диаметр у корневой шейки – 4,54 + –1,79 см.

Кроме того, встречаются всходы *Betula pubescens* Ehrh и *Populus tremula* L.. Среди кустарников единично произрастают *Salix caprea* L. (sol), *Salix cinerea* L. (sol) и *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wol.) Klásk. (sol). На поверхности сухого отвала не произрастают ни древесные виды, ни кустарники.

В травянистом ярусе в верхней части участка доминирует *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub (cop2), *Melilotus officinalis* (L.) Lam (cop1) *Festuca pratensis* Huds. (sp gr – cop1) и *Tanacetum vulgare* L. (cop1 – cop2), на откосе сухого отвала-гидропосеве преобладают *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub (cop1 – cop2), *Tanacetum vulgare* L. (cop1), *Artemisia absinthium* L. (cop1) и *Artemisia vulgaris* L. (sp – cop1). На поверхности сухого отвала обильно произрастает только *Melilotus officinalis* (L.) Lam. (cop2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечисленные мероприятия биологической рекультивации следует рассматривать как работы по обеспечению начальной фазы формирования растительного покрова на рекультивированных территориях. Последующие сукцессии, как показала практика, будут сопровождаться естественным внедрением в созданные после биорекультивации фитоценозы представителей местной флоры (в том числе и древесных видов) из прилегающих природных комплексов. Естественное зарастание дикорастущими видами происходит, как показано выше (золоотвал № 2) через 8–10 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Малева М. Г., Чукина Н. В., Борисова Г. Г. и др. Влияние рекультивационных мероприятий на содержание биогенных элементов и продукционный процесс у *Listera ovata* (Orchidaceae) в условиях золоотвала // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы XI Всерос. науч. конф. с междуна. участием, Сатка, 12–16 сентября 2022 г. Сатка : Изд-во «Принтоника», 2022. 299 с.

2. Махнев А. К., Чибрик Т. С., Трубина М. Р. и др. Экологические основы и методы биологической рекультивации тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург : УрО РАН, 2002. 356 с.

3. Пикалова Г. М., Серая Г. П., Пасынкова М. В. и др. Некоторые закономерности формирования культурфитоценозов на золоотвалах ТЭЦ Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. Сб. 3. С. 69–96.

4. Тарческий В. В. Промышленные отвалы и их освоение // Растительность и промышленное загрязнение. Свердловск : УФАН СССР, 1964. Вып. 4. С. 67–68.

5. Thomson H. W. Restoration of agricultural and other soils // Nature. 1958. P. 4606.

6. Чибрик Т. С. Влияние полива золы сточными водами на формирование побегов костра безостого и пырея ползучего на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС // Охрана природы на Урале: Растительность и пром. загрязнения. Свердловск : УФАН СССР, 1970. Вып. 7. С. 140–143. 183 с.

7. Менщиков С. Л., Мухин В. А., Ташев А. Н. Диагностика негативных изменений в лесных экосистемах по выявлению техногенного нарушения и методов рекультивации нарушений земель // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель : материалы XI Всерос. науч. конф. с междуна. участием, Сатка, 12–16 сентября 2022 г. Сатка : Изд-во «Принтоника», 2022. 299 с.

8. Прозорова Т. А. Фитомелиорация золоотвалов // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург, 1996. С. 125–126.

9. Беспрозвана С. Я. Выращивание многолетних травянистых растений на рыхлых золоотвалах // Растения и пром. среда : сб. науч. тр. Свердловск : УрГУ, 1964. Вып. 1. С. 117–134.

10. Хамидулина М. В. Особенности роста и развития многолетних растений на плотных золоотвалах // Растения и пром. среда : сб. науч. тр. Свердловск : УРГУ, 1964. Вып. 1. С. 134–145.

11. Власова Г. М. Рост и развитие растений второго года жизни на золоотвале Березниковской ТЭЦ № 4 // Растения и пром. среда : сб. науч. тр. Свердловск : УРГУ, 1964. Вып. 1. С. 146–163.

12. Влияние зольного субстрата на функциональные параметры и биомассу *betulapendula roth* и *pinussylvestris* l. на ювенильной стадии онтогенетического развития, Растительность Байкальского региона и сопредельных территорий / С. В. Мигалина, И. В. Калашникова, Д. А. Ронжина, Л. А. Иванова // Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Улан-Удэ, 2023. С. 63–67.

REFERENCES

1. Maleva M. G., Chukina N. V., Borisova G. G. i dr. Vliyanie rekultivacionnyh meropriyatij na sodержanie biogennyh elementov i produkcionnyj process u *Listera ovata* (Orchidaceae) v usloviyah zolootvala // Biologicheskaya rekultivaciya i monitoring narushennyh zemel : materialy XI Vseros. nauch. konf. s mezhdu. uchastiem, Satka, 12–16 sentyabrya 2022 g. Satka : Izd-vo «Printonika», 2022. 299 s.

2. Mahnev A. K., Chibrik T. S., Trubina M. R. i dr. *Ekologicheskie osnovy i metody biologicheskoy rekultivatsii teplovykh elektrostancij na Urale*. Ekaterinburg : UrO RAN, 2002. 356 s.
3. Pikalova G. M., Seraya G. P., Pasynkova M. V. i dr. *Nekotorye zakonomernosti formirovaniya kulturfitocenozov na zolootvalah TEC Urala // Rasteniya i promyshlennaya sreda*. Sverdlovsk, 1974. Sb. 3. S. 69–96.
4. Tarcheskij V. V. *Promyshlennye otvaly i ih osvoenie // Rastitelnost i promyshlennoe zagryazneniya*. Sverdlovsk : UFAN SSSR, 1964. Vyp. 4. S. 67–68.
5. Thomson H. W. *Restoration of agricultural and other soils // Nature*. 1958. P. 4606.
6. Chibrik T. S. *Vliyanie poliva zoly stochnymi vodami na formirovanie pobegov kostra bezostogo i pyreya polzuchego na zolootvale Nizhneturinskoj GRES // Ohrana prirody na Urale: Rastitelnost i prom. Zagryazneniya*. Sverdlovsk : UFAN SSSR, 1970. Vyp. 7. S. 140–143. 183 s.
7. Menshikov S. L., Muhin V. A., Tashev A. N. *Diagnostika negativnykh izmenenij v lesnykh ekosistemah po vyavleniyu tehnogennogo narusheniya i metodov rekultivatsii narushenij zemel // Biologicheskaya rekultivatsiya i monitoring narushennykh zemel : materialy XI Vseros. nauch. konf. s mezhdun. uchastiem, Satka, 12–16 sentyabrya 2022 g. Satka: Izd-vo «Printonika», 2022. 299 s.*
8. Prozorova T. A. *Fitomelioratsiya zolootvalov // Biologicheskaya rekultivatsiya narushennykh zemel*. Ekaterinburg, 1996. S. 125–126.
9. Besprozvana S. Ya. *Vyrashivanie mnogoletnih travyanistyh rastenij na ryhlyh zolootvalah // Rasteniya i prom. Sreda : Sb. nauch. tr. Sverdlovsk : UrGU, 1964. Vyp. 1. S. 117–134.*
10. Hamidulina M. V. *Osobennosti rosta i razvitiya mnogoletnih rastenij na plotnyh zolootvalah // Rasteniya i prom. Sreda : Sb. nauch. tr. Sverdlovsk : URGU, 1964. Vyp. 1. S. 134–145.*
11. Vlasova G. M. *Rost i razvitie rastenij vtorogo goda zhizni na zolootvale Bereznikovskoj TEC № 4 // Rasteniya i prom. Sreda : Sb. nauch. tr. Sverdlovsk : URGU, 1964. Vyp. 1. S. 146–163.*
12. Migalina S. V., Kalashnikova I. V., Ronzhina D. A., Ivanova L. A. *Vliyanie zolnogo substrata na funktsionalnye parametry i biomassu betulapendula roth i pinussylvestris l. na yuvenilnoj stadii ontogeneticheskogo razvitiya, Rastitelnost Bajkalskogo regiona i sopredelnykh territorij. materialy vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Ulan-Ude, 2023. S. 63–67.*

© Менщиков С. Л., Мохначев П. Е.,
Неклюдов И. А., 2025

Поступила в редакцию 22.09.2025
Принята к печати 02.12.2025

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Е. В. Авдеева¹, Н. В. Цыганкова², А. В. Никончук¹

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

²КГБПОУ «Красноярский политехнический техникум»
Российская Федерация, 660079, Красноярск, ул. Александра Матросова, 20

Аннотация. В статье представлены результаты оценки роста деревьев на объектах озеленения г. Красноярска. Объектами исследования являются деревья тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) с естественной формой кроны, прошедшие только санитарную обрезку, произрастающие в городских посадках с различным уровнем техногенного воздействия; обследуемые территории относятся к объектам общего, ограниченного пользования и специального назначения районного значения, расположенные во всех районах города; на территории исследуемых объектов выявлено четыре типа композиционного расположения деревьев: солитер, массив, рядовая и букетная посадки. предельный возраст исследуемых деревьев составляет 80 лет. Рост по высоте достоверно описывается уравнением Мичерлиха. Анализ роста деревьев по высоте показал, что: до 15–18-летнего возраста условия среды не оказывают существенного влияния на рост данного вида в высоту, в дальнейшем начиная с 35–40-летнего возраста прослеживается дифференциация на несколько типов роста; к 70-летнему возрасту, амплитуда по высоте между растениями, произрастающими в удовлетворительных и критических условиях, составляет 13 м, что составляет 50 %; ряды роста по высоте для растений, произрастающих в букетном типе пространственной структуры, несколько отличаются от остальных типов: разброс значений меньше, выделяется только два типа по темпам роста, значения биометрических параметров значительно ниже аналогичных для других типов посадки, одинаковая площадь питания растений, приходящаяся на один и на несколько стволов (от 3-х до 7) деревьев играет важное значение и отражается на биометрических параметрах растений. Полученные результаты позволили составить ряды хода роста тополя бальзамического с естественной формой кроны с учетом условий произрастания в урбосреде промышленного города Красноярска.

Полученные данные позволяют прогнозировать динамику объемно-пространственной структуры как отдельных деревьев, так и городских насаждений в целом.

Ключевые слова: древесные растения, тополь бальзамический, естественная форма роста, объекты озеленения, городская среда.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 80–87

GROWTH CHARACTERISTICS OF WOODY PLANTS IN LANDSCAPING SITES IN KRASNOYARSK

E. V. Avdeeva¹, N. V. Tsygankova², A. V. Nikonchuk¹

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

²KSBPEI “Krasnoyarsk Polytechnic College”
20, Alexandra Matrosova st., Krasnoyarsk, 660079, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of tree growth assessment in landscaping sites in Krasnoyarsk. The objects of the study are balsam poplar trees (*Populus balsamifera* L.) with a natural crown shape that have undergone only sanitary pruning, growing in urban plantings with varying levels of technogenic impact. The surveyed areas relate to public, limited-use and special-purpose objects of regional significance, located in all districts of the city. Four types of compositional arrangement of trees were identified on the territory of the study objects: solitary, array, row and bouquet plantings. The maximum age of the studied trees is 80 years. Height growth is reliably described by the Mitscherlich equation. Analysis of tree height growth showed that up to 15–18 years of age, environmental conditions do not have a significant effect on the height growth of this species, subsequently, starting from the age of 35–40 years, differentiation into several growth types is traced. By the age of 70, the height difference between plants growing in

satisfactory and critical conditions is 13 m, representing 50 % of the total. The height growth series for plants grown in a bouquet-type spatial structure differ somewhat from those of other types: the spread of values is smaller, with only two distinct growth rate types. The biometric parameter values are significantly lower than those for other planting types. The equal feeding area of plants per trunk (from 3 to 7) plays a significant role and is reflected in the biometric parameters of the plants. The obtained results allowed us to compile growth series for balsam poplar with a natural crown shape, taking into account the growing conditions in the urban environment of the industrial city of Krasnoyarsk.

The obtained data allow us to predict the dynamics of the spatial structure of both individual trees and urban plantings as a whole.

Keywords: woody plants, *Populus balsamifera*, natural growth form, landscaping sites, urban environment.

ВВЕДЕНИЕ

Создание и поддержание зеленых зон является неотъемлемой частью оптимизации городской среды. Зеленые насаждения выступают как рекреационные зоны для населения и формируют уникальный ландшафт, отражающий географическое положение городов. В условиях возрастающего антропогенного воздействия, растительность играет ключевую роль в смягчении неблагоприятных последствий внешних факторов.

Загрязнение атмосферы промышленными отходами и автомобильными выхлопами оказывает значительное негативное воздействие на городские экосистемы и их биокomпоненты, в частности, на растения, приводя к их ослаблению и сокращению жизненного цикла. Исследования ряда ученых [Кулагин, 1974; Николаевский, 2002; Рунова, 2010; Авдеева, 2013; Тюкавина, 2018] подчеркивают взаимосвязь между анализом состояния городских насаждений и разработкой стратегий управления ими. Понимание механизмов устойчивости древесных пород необходимо для разработки мер, направленных на стабилизацию экологических и социальных функций растительности в городской среде. В Красноярске функционируют предприятия, классифицируемые как объекты первого класса опасности, включая химическую и металлургическую. Энергетические и коммунальные объекты, автомобильный транспорт также являются существенными источниками загрязнения, выделяя токсичные отходы, тепло, электромагнитное излучение и шум, а также создавая риск техногенных аварий.

В условиях озеленения городской среды Красноярска тополь бальзамический продолжает занимать доминирующее положение среди высаживаемых древесных пород [Авдеева, 2007]. Эти крупные деревья (первого порядка величины) играют важную роль в обеспечении защиты, эстетического оформления и улучшении санитарных условий [Рунова, 2009, 2014; Тюкавина, 2018; Черникова, 2019; Авдеева, 2019]. Однако следует учитывать, что данная группа тополей проявляет высокую чувствительность к плодородности почвы, уровню влажности и интенсивности освещения на участке. Недостаточное внимание к этим критическим факторам при формировании зеленых насаждений, а также чрезмерная плотность посадки и применение агротехнических приемов, несогласованных с биологическими особенностями вида, оказывают неблагоприятное воздействие на состояние популяций тополя [Авдеева, 2007]. Таким образом, успешное выращивание тополя бальзамического в городской среде требует комплексного подхо-

да, учитывающего как экологические требования вида, так и особенности городской среды. Цель исследования заключается в установлении особенностей роста тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) с естественной формой кроны на объектах озеленения г. Красноярска.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве предмета изучения рассматривались деревья тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.). На сегодняшний день, предельный срок жизни насаждений тополя бальзамического оценивается в пределах 60-80 лет. Наблюдения и сбор данных осуществлялись с 2013 по 2021 годы в городской среде Красноярска, на участках озеленения, отличающихся степенью антропогенной нагрузки. Изучаемые территории включали объекты общего доступа, ограниченного использования, а также объекты специального назначения районного масштаба, расположенные в различных районах города. Определение возрастной структуры растений производилось на основе главных характеристик, соответствующих этапам формирования ствола и кроны деревьев, в соответствии с методическими рекомендациями, представленными в работе «Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений» [Чистякова, 1989]. Оценка условий произрастания растений на озелененных территориях проводилась на основе методики «Интегральная оценка состояния фитосреды на локальном уровне» [Авдеева, 2007].

Определение и изучение биометрических характеристик бальзамических тополей осуществлялось безбазисным методом. Обработка полученных изображений производилась в графической программе «КОМПАС-3D V 20» с применением масштабного устройства и фотосъемки. Полученные сведения анализировались согласно методике измерений, разработанной специалистами кафедры лесного инжиниринга СибГУ им. М. Ф. Решетнева [Патенты 2534381; 2534380, 2014]. Суть предложенного подхода заключается в увеличении точности измерений параметров древесных растений, а также в уменьшении временных и финансовых ресурсов [Авдеева, 2018]. Для каждого исследуемого дерева выполнялась фотосъемка (рис. 1). Математический анализ полученных биометрических данных заключался в создании модели, описывающей рост деревьев по высоте. Коэффициенты уравнения получены с использованием программа нелинейного регрессионного анализа (Statistica 10.0).

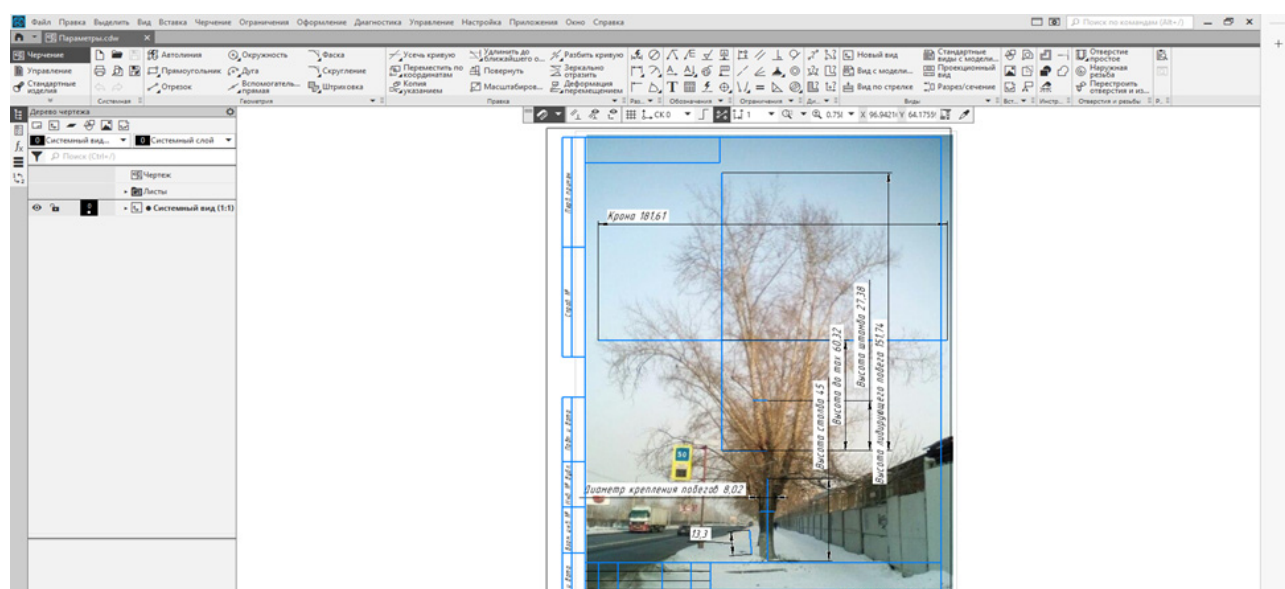


Рис. 1. Фотофиксация деревьев на объектах озеленения г. Красноярск

Расчеты выполнялись по формуле

$$Y_i = \frac{L \cdot y_i}{l},$$

где Y_i – расчетный параметр, м; L – длина масштабного устройства, м; y_i – длина отрезка искомого параметра в графическом редакторе на фотоизображении; l – длина отрезка масштабного шеста в графическом редакторе на фотоизображении.

Для описания зависимости между возрастом дерева и значениями средней высоты дерева в ряду роста деревьев использовалась формула Мичерлиха [Кузьмичев, 1977]:

$$H = b_1 \cdot \left(1 - \left(\exp \left(-1 \left(A / b_2 \downarrow 2 \right) \right) \right)^{\uparrow} \right) (b_3),$$

где A – возраст; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты уравнения.

Для отображения зависимости между скоростью увеличения размеров деревьев и их возрастом используют уравнение Митчерлиха [Кузьмичев, 1977]. Значения параметров трактуется следующим образом: b_1 – отражает максимальное значение признака, к которому кривая асимптотична; b_2 – характеризует скорость роста, b_3 – показывает соотношение между вогнутой и выпуклой частями кривой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

На основе анализа влияния антропогенных факторов проведено распределение исследуемых городских посадок по степени их воздействия, что позволило установить четыре категории условий для развития растительности – от удовлетворительных до критических. Наиболее существенный отрицательный фактор, подавляющий развитие растений – транспортные потоки, вносящие отрицательный вклад в общее воздей-

ствие в диапазоне от 38 до 56 %. Обнаружено, что немалая доля деревьев тополя бальзамического (39 %) находится в сложных ситуациях – в одиночных и рядовых посадках у дорог с высокой загруженностью автотранспорта.

На территориях со средним уровнем загрязнения воздуха (напряженный тип условий произрастания) и незначительными отклонениями от правил размещения древесных растений, а также в зонах с крайне негативными условиями (критический тип условий произрастания) – в санитарно-защитных зонах заводов или оживлённых магистралей, находящихся ниже уровня промышленных объектов по отношению к ландшафту, где твёрдые поверхности, как правило, асфальтовые, непосредственно граничат с растительностью, при существенном игнорировании правил ухода расположено около 18 % насаждений тополя бальзамического; в благоприятных местах (удовлетворительный тип условий произрастания) – в парковых комплексах, скверах и бульварах – 16 %, включая контрольные участки за пределами города – 25 %.

Таким образом, насаждения тополя бальзамического на территории г. Красноярск произрастают под влиянием всех уровней нагрузки, что позволяет провести сравнительный анализ влияния условий урбосреды на изменчивость биометрических показателей деревьев данного вида в возрастной динамике.

Исследование структуры посадок тополя бальзамического в г. Красноярске выявило преобладание (65 %) отдельно стоящих деревьев, что обусловлено практикой удаления соседних экземпляров. Массивы, занимающие 20 % от общего числа, характерны для микрорайонов, построенных в 60-х годах прошлого столетия. Посадки в виде рядов, в основном вдоль дорог, составляют 7 % от изученных насаждений. Групповые посадки тополей (8 %), как правило, можно обнаружить в городских скверах и парках.

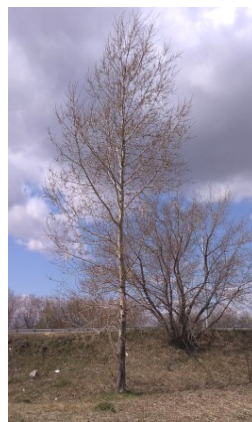
Естественная форма роста тополя бальзамического



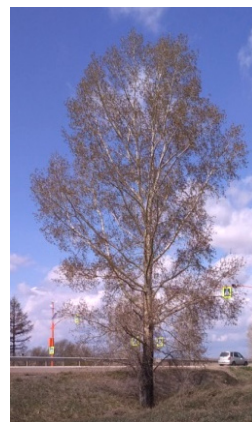
Саженец



Виргинильное состояние (v)



Молодое генеративное состояние (g1)



Средневозрастное генеративное состояние (g2)



Старовозрастное генеративное состояние (g3)



Сенильное состояние (S)

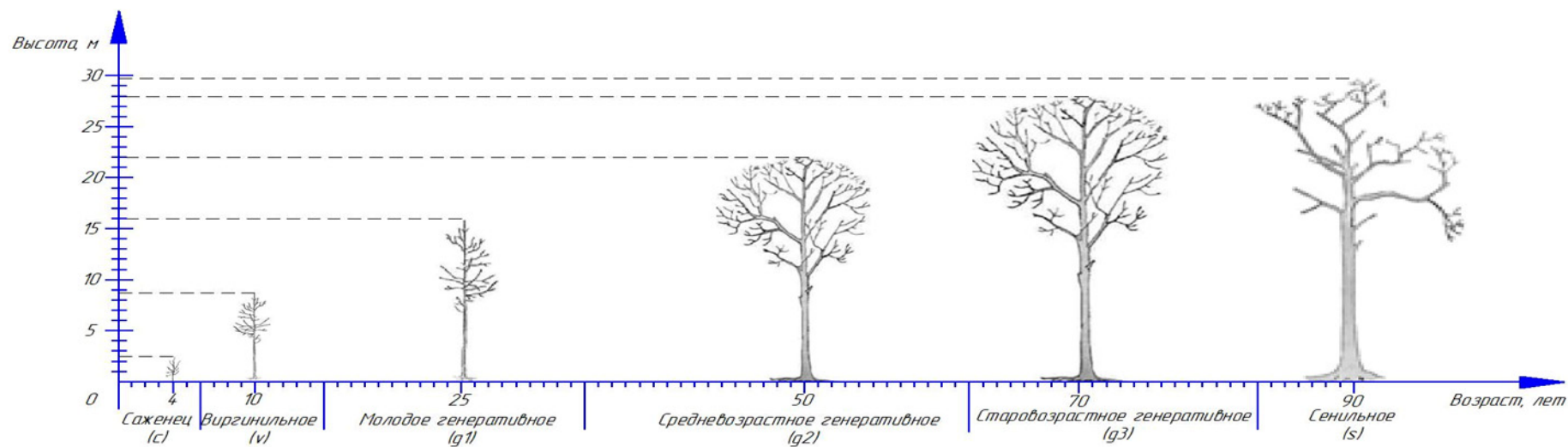


Рис. 2. Динамика роста тополя бальзамического с естественной формой кроны (солитер)

Таблица 1
Коэффициенты уравнения и критерии оценки уравнений

Тип условий произрастания	Тип пространственной структуры насаждения									
	<i>солитер</i>					<i>массив</i>				
	Коэффициенты уравнения			Критерии оценки		Коэффициенты уравнения			Критерии оценки	
	b_1	b_2	b_3	R^2	SE	b_1	b_2	b_3	R^2	SE
Контроль	36,41	1,26	0,033	0,992	1,10	38,23	1,61	0,032	0,998	0,9
Удовлетворительный	35,06	0,15	0,004	0,989	2,71	35,71	1,12	0,029	0,990	6,9
Напряженный	25,43	1,20	4,611	0,984	0,65	23,61	0,65	0,019	0,996	1,9
Конфликтный	24,85	0,93	0,023	0,988	0,92	20,30	0,83	0,042	0,990	3,3
Критический	20,55	4,84	0,119	0,992	2,24	15,17	0,77	0,047	0,986	2,6
	<i>букетная посадка</i>					<i>рядовая посадка</i>				
	Коэффициенты уравнения			Критерии оценки		Коэффициенты уравнения			Критерии оценки	
	b_1	b_2	b_3	R^2	SE	b_1	b_2	b_3	R^2	SE
	b_1	b_2	b_3	R^2	SE	b_1	b_2	b_3	R^2	SE
Контроль	39,16	1,72	0,041	0,997	0,84	39,46	1,48	0,025	0,998	0,3
Удовлетворительный	39,98	1,34	0,018	0,989	0,91	32,56	11,70	0,328	0,995	2,9
Напряженный	31,47	1,04	0,023	0,994	2,63	26,20	3219	756,8	0,991	3,1
Конфликтный	23,55	0,81	0,021	0,991	2,6	25,96	0,39	0,009	0,990	0,1
Критический	21,10	0,66	0,021	0,998	0,73	16,17	1,14	0,043	0,986	0,4

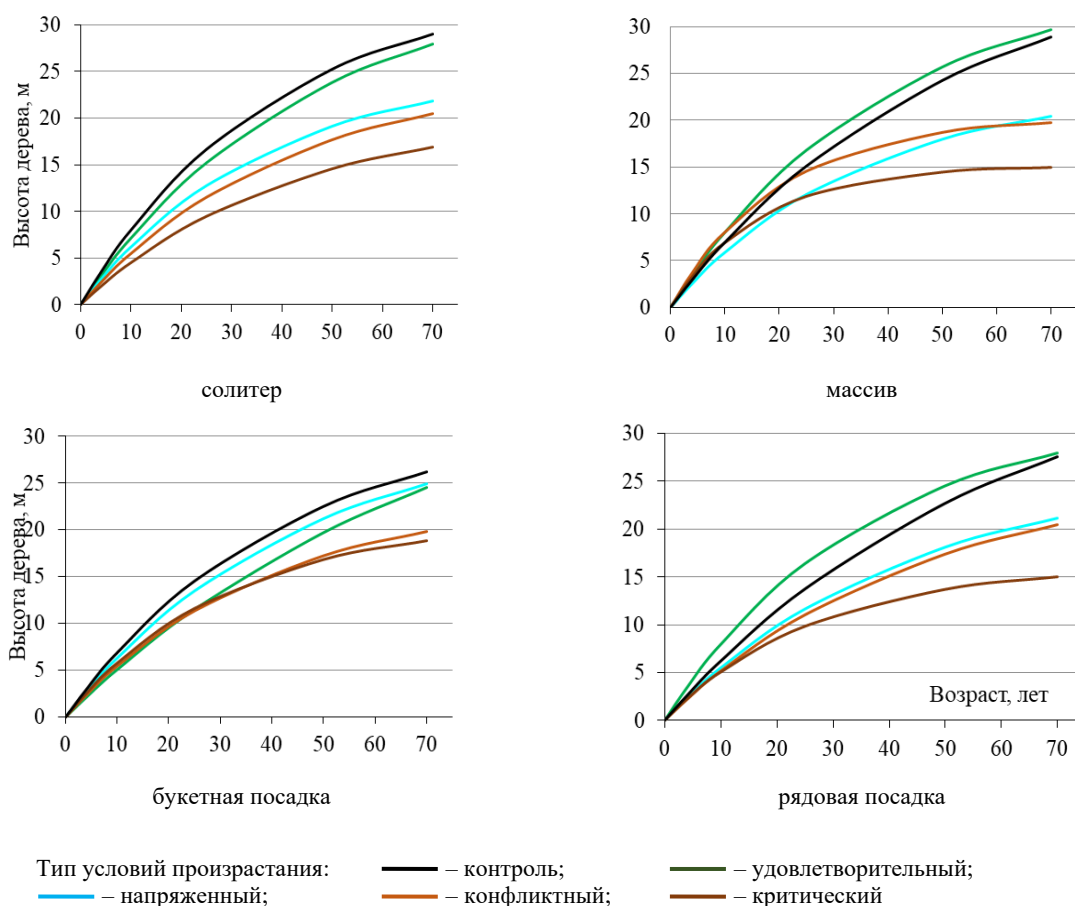


Рис. 3. Рост тополя бальзамического по высоте, произрастающего в естественной форме в различных пространственных и антропогенных условиях г. Красноярск

Изучение состояния крон исследуемых видов деревьев, произрастающих в пределах г. Красноярск после различных видов и степени обрезки, позволило выделить шесть моделей их развития: с природной

формой кроны (подвергавшихся санитарной обрезке); с полным удалением кроны до состояния «столба» без последующего формирования крон; после многократной (три и более раз) кардинальной обрезки основ-

ных ветвей до состояния «столба»; с глубокой обрезкой основного ствола до «столба» с последующим формированием кроны; при размножении вегетативным способом с корневыми побегами (с различными типами обрезки); омолаживающая обрезка ствола до «пня» с последующим формированием кроны [Авдеева, Черникова, 2019].

Возрастные изменения развития деревьев тополя бальзамического с естественной формой кроны (санитарная обрезка) в городских условиях Красноярска, представлены на рис. 2.

Анализ закономерностей роста тополя бальзамического в условиях города дает возможность прогнозировать изменения пространственной формы как отдельных деревьев, так и общую динамику городского ландшафта. Влияние антропогенных и временных факторов на рост тополя бальзамического в урбосреде изучено с использованием регрессионного анализа.

Динамика вертикального роста тополя бальзамического с высокой степенью достоверности описывается функцией Мичерлиха. Критерии уравнений, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о надежности выбранной методики. Графические представления траекторий роста деревьев тополя бальзамического иллюстрируются на рис. 2.

Изучение динамики роста тополя бальзамического по высоте, обладающих естественной структурой кроны (подвергавшихся только санитарной обрезке), позволило установить ряд характерных тенденций:

- в возрасте до 15–18 лет внешние факторы не оказывают влияние на рост по высоте для исследуемого вида деревьев; начиная с 35–40 лет установлено разделение на три типа роста, обусловленных условиями произрастания: «контроль – удовлетворительный»; «напряженный – конфликтный» и «критический». Разница между кривыми роста в среднем составляет 25,2 %, что соответствует критериям необходимой точности при классификации данных;

- к семидесяти годам разница в высоте между деревьями, растущими в благополучных и неблагоприятных условиях, достигает 13 метров, что соответст-

вует половине максимальной высоты растений;

- характер роста по высоте у деревьев, высаженных группами в одну лунку, демонстрирует некоторые отличия; диапазон значений становится уже, и выделяются две категории по скорости роста. В первую категорию попадают особи, развивающиеся в благоприятных и умеренно стрессовых условиях (удовлетворительный и напряженный тип условий произрастания), а также в контрольных посадках. Во вторую группу входят растения, испытывающие сильный стресс и критические условия. При этом максимальные показатели высоты при букетной посадке на $3,5 \pm 0,6$ м меньше, чем у деревьев, растущих по одному экземпляру в посадочной яме не зависимо от типа посадки (ряд, массив, солитер). Вероятно, ключевую роль играет одинаковая площадь питания, приходящаяся как на один ствол, так и на несколько (от 3 до 7) в случае «букетной» посадки, что отражается на биометрических показателях растений.

На основе проведенных исследований разработаны таблицы роста тополя бальзамического по высоте с естественной формой кроны, учитывающие особенности его развития в городской среде крупного промышленного центра, при этом принимались во внимание различные типы пространственной организации насаждений: одиночные деревья, садово-парковые группы, рядовые посадки (табл. 2).

Исследование особенностей роста деревьев тополя бальзамического, произрастающих в урбосреде показало – насаждения тополя бальзамического на территории г. Красноярска встречаются во всех типах произрастания, что позволяет провести сравнительный анализ влияния условий урбосреды на изменчивость биометрических показателей данного вида и составить ряды хода роста тополя бальзамического с естественной формой кроны с учетом условий произрастания в урбосреде Красноярска. Полученные данные позволяют прогнозировать динамику объемно-пространственной структуры как отдельных деревьев, так и городских насаждений в целом.

Таблица 2
Ряды хода роста тополя бальзамического по высоте

Диапазон возраста, лет	Тип условий произрастания		
	удовлетворительный	напряженный – конфликтный	критический
	Высота, м		
6–8	Саженьцы ГОСТ 24909–81 Саженьцы деревьев декоративных лиственных пород. Технические условия. Нормативные значения – высота саженца 200–400 см		
9–10	4–8		
11–20	8,1–14,5	8,1–10,0	6,1–8,0
21–30	14,6–18,0	10,1–13,5	8,1–10,5
31–40	18,1–21,5	13,6–16,0	10,6–12,5
41–50	21,6–25,5	16,1–18,5	12,6–14,8
51–60	25,6–26,5	18,6–20,0	14,9–16,0
61–70	26,6–28,5	20,1–21,5	16,1–17,0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. Москва : Наука, 1974. 126 с.
2. Николаевский В. С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений. Москва : МЛТИ, 1989. 65 с.
3. Николаевский В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации : монография. Пушкино : ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
4. Авдеева Е. В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде : монография; Красноярск : СибГТУ, 2007. 392 с.
5. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. Воздействие антропогенных факторов на древесно-кустарниковую растительность г. Братска // Вестник КрасГАУ. 2009. № 9(36). С. 87–91.
6. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. Формирование газоустойчивого ассортимента древесных растений в условиях повышенной техногенной нагрузки // Вестник КрасГАУ. 2010. № 6(45). С. 76–81.
7. Авдеева Е. В., Черникова К. В. Особенности формирования среды крупного промышленного города (на примере г. Красноярск) // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31, № 1-2. С. 30–35.
8. Тюкавина О. Н., Тюкавина А. П.; Биологические особенности тополя в условиях г. Архангельска : монография. Архангельск : САФУ, 2018. 158 с.
9. Павлов И. Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2006. – 426 с.
10. Сродных, Т. Б., Медведева Е. Ю. Перспективные виды тополей для озеленения городов Урала // Инновации в ландшафтной архитектуре : материалы VIII Науч.-практ. конф. Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. С. 57–59.
11. Гарус И. А., Рунова Е. М., Орлова Ю. В. Оценка состояния тополя бальзамического (*Populus Balsamifera* L.) в зеленых насаждениях Братска // Природообустройство. 2023. № 4. С. 103–109.
12. Рунова Е. М., Аношкина Л. В. *Populus balsamifera* в озеленении Братска // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 4(24). С. 141–143.
13. ГОСТ 28329–89. Озеленение городов. Общие термины и определения = Urban planting. Terms and definitions : Государственный стандарт союза ССР : дата введения 1991-01-01 / Разработан и внесен Министерством жилищно-коммунального хозяйства РСФСР. сайт. URL: <https://dhttps://docs.cntd.ru/document/1200023332> (Дата обращения: 18.08.2024).
14. Черникова К. В., Авдеева Е. В. Сценарии роста тополя бальзамического в условиях городской среды // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. С. 321–324.
15. Авдеева Е. В., Черникова К. В. Сценарии роста тополя бальзамического в условиях городской среды // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и эко-

логические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. С. 321–324.

16. Чистякова А. А., Заугольнова Л. Б., Полтинкина И. В. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Москва : Прометей, 1989. 102 с.

17. Авдеева Е. В., Извеков А. А. Оценка точности безбазисного метода определения биометрических параметров древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, № 2. С. 123–132.

18. Кузьмичев В. В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск : Наука, 2013. – 208 с.

19. Патент № 2534380 С1 Российская Федерация, МПК G01C 15/06 (2006.01). Масштабное устройство для измерения биометрических параметров древесных растений : № 2013129184/28 : заявл. 25.06.2013 : опубл. 27.11.2014 / Авдеева Е. В., Извеков А. А. ; заявитель СибГТУ. 6 с. : ил.

20. Патент № 2534381 С1 Российская Федерация, МПК G01C 15/06 (2006.01) Способ измерения биометрических параметров древесных растений : № 2013129185/28 : заявл. 25.06.2013 : опубл. 27.11.2014 / Авдеева Е. В., Извеков А. А. ; заявитель СибГТУ. 7 с. : ил.

REFERENCES

1. Kulagin Yu. Z. Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda. Moskva : Nauka, 1974. 126 s.
2. Nikolaevskij V. S. Ekologo-fiziologicheskie osnovy gazoustojchivosti rastenij. Moskva : MLTI, 1989. 65 s.
3. Nikolaevskij V. S. Ekologicheskaya ocenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnyh ekosistem metodami fitoindikacii : monografiya. Pushkino : VNIILM, 2002. 220 s.
4. Avdeeva E. V. Rost i indikatornaya rol' drevesnyh rastenij v urbanizirovannoj srede : monografiya; Krasnoyarsk : SibGTU, 2007. 392 s.
5. Runova E. M., Anoshkina L. V. Vozdejstvie antropogennyh faktorov na drevesno-kustarnikovuyu rastitel'nost' g. Bratska // Vestnik KrasGAU. 2009. № 9(36). S. 87–91.
6. Runova E. M., Anoshkina L. V. Formirovanie gazoustojchivogo assortimenta drevesnyh rastenij v usloviyah povyshennoj tekhnogennoj nagruzki // Vestnik KrasGAU. 2010. № 6(45). S. 76–81.
7. Avdeeva E. V., Chernikova K. V. Osobennosti formirovaniya sredy krupnogo promyshlennogo goroda (na primere g. Krasnoyarska) // Hvojnye boreal'noj zony. 2013. T. 31, № 1-2. S. 30–35.
8. Tyukavina O. N., Tyukavina A. P.; Biologicheskie osobennosti topolya v usloviyah g. Arhangel'ska : monografiya. Arhangel'sk : SAFU, 2018. 158 s.
9. Pavlov I. N. Drevesnye rasteniya v usloviyah tekhnogennogo zagryazneniya. Ulan-Ude : BNC SO RAN, 2006. 426 s.
10. Srodnyh, T. B., Medvedeva E. Yu. Perspektivnye vidy topolej dlya ozeleneniya gorodov Urala // Innovacii v landshaftnoj arhitekture : materialy VIII nauch.-prakt. konf. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2012. S. 57–59.

11. Garus I. A., Runova E. M., Orlova Yu. V. Ocenka sostoyaniya topolya bal'zamicheskogo (*Populus Balsamifera* L.) v zelenykh nasazhdeniyah Bratska // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 4. S. 103–109.
12. Runova E. M., Anoshkina L. V. Populus balsamifera v ozelenenii Bratska // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2014. № 4(24). S. 141–143.
13. GOST 28329–89. Ozelenenie gorodov. Obshchie terminy i opredeleniya = Urban planting. Terms and definitions : Gosudarstvennyj standart soyuza SSR : data vvedeniya 1991-01-01 / Razrabotan i vnesen Ministerstvom zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva RSFSR. sajt. URL: <https://dhttps://docs.cntd.ru/document/1200023332> (data obrashcheniya : 18.08.2024).
14. Chernikova, K. V., Avdeeva E. V. Scenarii rosta topolya bal'zamicheskogo v usloviyah gorodskoj sredy // Lesnaya nauka v realizacii koncepcii ural'skoj inzhenernoj shkoly: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora ekonomiki : materialy XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ekaterinburg : UGLTU, 2019. S. 321–324.
15. Avdeeva E. V. Chernikova K. V. Scenarii rosta topolya bal'zamicheskogo v usloviyah gorodskoj sredy // Lesnaya nauka v realizacii koncepcii ural'skoj inzhenernoj shkoly: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora ekonomiki : materialy II Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ekaterinburg : UGLTU, 2019. S. 321–324.
16. Chistyakova A. A., Zaugol'nova L. B., Poltinkina I. V. Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyanij lesnykh rastenij. Moskva : Prometej, 1989. 102 s.
17. Avdeeva E. V., Izvekov A. A. Ocenka tochnosti bezbazisnogo metoda opredeleniya biometricheskikh parametrov drevesnykh rastenij // Hvojnye boreal'noj zony. 2018. T. 36, № 2. S. 123–132.
18. Kuz'michev V. V. Zakonomernosti dinamiki drevostoev: principy i modeli. Novosibirsk : Nauka, 2013. 208 s.
19. Patent № 2534380 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK G01C 15/06 (2006.01). Masshtabnoe ustrojstvo dlya izmereniya biometricheskikh parametrov drevesnykh rastenij : № 2013129184/28 : zayavl. 25.06.2013 : opubl. 27.11.2014 / Avdeeva E. V., Izvekov A. A. ; zayavitel' SibGTU. 6 s. : il.
20. Patent № 2534381 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK G01C 15/06 (2006.01) Sposob izmereniya biometricheskikh parametrov drevesnykh rastenij : № 2013129185/28 : zayavl. 25.06.2013 : opubl. 27.11.2014 / Avdeeva E. V., Izvekov A. A. ; zayavitel' SibGTU. 7 s. : il.

© Авдеева Е. В., Цыганкова Н. В.,
Никончук А. В., 2025

Поступила в редакцию 08.10.2025
Принята к печати 02.12.2025

**ТОВАРНАЯ ОЦЕНКА СУХОСТОЙНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ
(*ABIES SIBIRICA* LEDEB.) В ДРЕВОСТОЯХ, ПОГИБШИХ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ
СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА (*DENDROLIMUS SIBIRICUS*) И УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА
(*POLYGRAPHUS PROXIMUS* BLANDFORD)***

С. Г. Елисеев, С. Н. Казицин¹, Е. В. Акинина

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

¹E-mail: sergeikaz060890@yandex.ru

Аннотация. Представленная работа посвящена товарной оценке лесоматериалов, получаемых из сухостойных деревьев пихты сибирской, погибших вследствие воздействия насекомых-вредителей – сибирского шелкопряда и уссурийского полиграфа. Исследование проводилось на территории Красноярском края в сухостойных насаждениях с различной давностью гибели.

В ходе исследований было установлено, что уже в первые 3–5 лет после гибели насаждений только 50 % сухостойной древесины соответствует требованиям ГОСТ 9463–2016 для самого низкого 4 сорта. А при давности гибели 8 и более лет 100 % сухостойных деревьев не соответствуют требованиям стандартов. Основные пороки древесины, обеспечивающие несоответствие лесоматериалов, изготовленных из сухостоя требованиям ГОСТ 9463–2016 – это трещины усушки и значительно реже червоточины. Грибные поражения также являются одним из наиболее встречаемых в сухостое пороков древесины, но при этом практически никогда не являются причиной перевода древесины в разряд дровяной.

Отдельные сухостойные деревья могут в течение десятилетий сохранять качество древесины на уровне предельно допустимых параметров пороков. Однако данные особенности являются скорее исключением, нежели правилом и характерны только для небольшой доли деревьев в сухостойных насаждениях, поврежденных полиграфом уссурийским.

С учетом полученных результатов некондиционные из-за трещин и червоточин лесоматериалы могут быть использованы для производства композиционных материалов, продукции целлюлозно-бумажных и лесохимических производств практически наравне с кондиционной древесиной.

Ключевые слова: древесина, пороки, сухостой, пихта сибирская, сорт, товарная оценка.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 88–95

**COMMODITY EVALUATION OF DEAD SIBERIAN FIR WOOD (*ABIES SIBIRICA* LEDEB.)
IN STANDS THAT DIED FROM EXPOSURE TO THE SIBERIAN SILKWORM (*DENDROLIMUS*
SIBIRICUS) AND THE FOUR-EYED FIR BARK BEETLE (*POLYGRAPHUS PROXIMUS* BLANDFORD)**

S. G. Eliseev, S. N. Kazitsin¹, E. V. Akinina

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

¹E-mail: sergeikaz060890@yandex.ru

Annotation. The presented work is devoted to the commodity evaluation of timber obtained from dry-standing Siberian fir trees that died due to the effects of insect pests – the Siberian silkworm and the four-eyed fir bark beetle. The study was conducted on the Krasnoyarsk Territory in dry-standing plantations with different dates of death.

In the course of research, it was found that in the first 3–5 years after the death of plantations, only 50 % of dead wood meets the requirements of GOST 9463–2016 for the lowest grade 4. And with a death period of 8 years or more, 100 % of dead trees do not meet the requirements of the standards. The main defects of wood that ensure that timber made from dead wood does not meet the requirements of GOST 9463–2016 are shrinkage cracks and, much less frequently, wormholes. Fungal lesions are also one of the most common wood defects in dead wood, but they are almost never the reason for the transfer of wood to the category of wood.

* Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (Номер темы FEFE-2024-0032).

Individual dry-standing trees can maintain wood quality for decades at the level of the maximum permissible defect parameters. However, these features are the exception rather than the rule and are typical only for a small proportion of trees in dry stands damaged by the four-eyed fir bark beetle.

Taking into account the results obtained, substandard timber due to cracks and wormholes can be used for the production of composite materials, pulp and paper products and wood chemical industries almost on a par with standard wood.

Keywords: wood, blemishes, dead wood, Siberian fir, grade, commodity evaluation.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия лесные территории Сибирского региона, включая Красноярский край, подвергаются масштабным повреждениям из-за вспышек массового размножения насекомых-вредителей, таких как сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus*) и уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus* Blandford) [3]. Гибель темнохвойных преимущественно пихтовых насаждений на огромной территории является экологическим бедствием для лесных экосистем. По данным Рослесхоза [12], площадь погибших насаждений только в Красноярском крае превышает 1,5 млн га, что остро ставит вопрос не только необходимости восстановления лесных насаждений, но и утилизации огромных запасов сухостойной древесины, создающих угрозу развития на данных территориях катастрофических лесных пожаров [1].

Актуальность исследований состояния древесного сырья в сухостойных насаждениях и разработка возможностей рационального его использования обусловлена задачами, поставленными в государственной программе «Развития лесного хозяйства» на 2021–2030 годы, а также стратегией развития лесопромышленного комплекса Красноярского края, предусматривающей увеличение объемов переработки низкосортной и сухостойной древесины [11]. Прогнозирование изменения товарной стоимости сухостойной древесины в зависимости от давности гибели позволит снизить экономические потери и оптимизировать использование такой древесины в деревоперерабатывающей промышленности [9; 10; 13].

Наибольший интерес для рационального использования древесных ресурсов погибших насаждений представляет изучение возможности использования сухостойной древесины для производства лесных товаров с относительно высокой добавленной стоимостью, таких, например, как пиловочник и балансы [14–16]. Требования, предъявляемые к круглым лесоматериалам, изложены в ГОСТ 9463–2016 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия». В данном стандарте пиловочник может иметь сорт от 1 до 4, а балансы от 2 до 4 сорта. В тоже время лесозаготовительные компании отдают предпочтение заготовке высокосортной древесины, имеющей более высокую стоимость реализации готовой продукции при сопоставимой себестоимости производства [6]. При этом, по данным [5] для Архангельской области, уже через несколько лет после гибели деревьев выход товарной древесины составляет не более 20 %, что делает ее заготовку низкорентабельной. Однако в условиях массовой гибели лесных насаждений древостой могут находиться в сухостойном состоянии длительный период времени. При этом динамика

снижения товарной стоимости древесины во времени может зависеть от целого ряда различных факторов, таких как место и условия произрастания, вид древесной породы, причины гибели насаждения и др.

Целью настоящей работы являлось проведение сравнительного исследования динамики изменения качественных показателей древесины пихты сибирской, погибшей в результате воздействия сибирского шелкопряда и полиграфа уссурийского в зависимости от давности гибели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор древостоев осуществлялся с использованием базы поврежденных и погибших насаждений в результате вспышек массового размножения сибирского шелкопряда и полиграфа уссурийского предоставленной «Центром защиты леса Красноярского края». При отборе насаждений для исследований учитывались давность гибели древостоя, его состав, возраст и бонитет.

Для проведения исследований по материалам базы данных поврежденных и погибших насаждений были отобраны приспевающие и спелые древостои с преобладанием в составе пихты сибирской (более 7 единиц), не ниже 3 бонитета. Отбор участков производился субъективно. Затем сортировка поврежденных участков проводилась по давности гибели насаждений. Насаждения пихты сибирской, поврежденные полиграфом уссурийским, отбирались с учетом возможности заготовки моделей с давностью гибели: 5, 10, 15 и 20 лет в Емельяновском районе Красноярского края.

Насаждения пихты сибирской, поврежденные сибирским шелкопрядом, были отобраны со следующей давностью гибели: 5 лет (Ирбейский район), 8 лет (Енисейский район), 21 год (Ирбейский район).

С использованием спутниковых снимков высокого разрешения на предварительно отобранных участках устанавливалось наличие сухостойных насаждений на текущую дату, так как ряд сухостойных древостоев уже были пройдены лесными пожарами или вырублены. В ходе подготовительных мероприятий по изучению спутниковых снимков, было установлено, что на пробной площади, которая находилась в очаге массового размножения сибирского шелкопряда 21-летней давности гибели, сухостойные деревья отсутствовали. Исходя из того, что на территории региона исследований отсутствовали другие очаги массового размножения сибирского шелкопряда с давностью гибели деревьев более 8 лет и с наличием сухостойного древостоя, было принято решение ограничиться пробными площадями с 5 и 8-летней давностью гибели

древостоев в очагах массового размножения сибирского шелкопряда.

Для определения жизненного состояния нарушенных лесных участков, вследствие инвазии полиграфа уссурийского и воздействия сибирского шелкопряда, на пробных площадях было проведено обследование насаждений в соответствии с общепринятыми таксационными методиками [18].

По результатам таксации насаждений на пробных площадях были определены наиболее встречающиеся по таксационным показателям сухостойные деревья. На основе этих параметров в исследуемых насаждениях были отобраны модельные деревья. Отбираемые модельные деревья не должны были иметь видимых дефектов растущих деревьев, таких как морозные трещины, сухобокость, прорость, рак, пасынок. Помимо этого, в случае выявления сердцевинной гнили ствола при раскряжке срубленного дерева такие модели отбраковывались.

В отличие от насаждений, пройденных сибирским шелкопрядом для отбора модельных деревьев в древостоях, погибших вследствие повреждения полиграфом уссурийским, на каждой пробной площади отбирались 100 модельных деревьев с требуемыми параметрами. При отборе также контролировалась причина гибели дерева. На модельном дереве должны были присутствовать многочисленные летные отверстия жуков полиграфа уссурийского, которые могут достигать плотности 60–70 шт./дм. Под корой пораженных

деревьев должны были быть видны маточные ходы, горизонтально ориентированные, в среднем до 8 см в длину, и личиночные галерей, ориентированные вертикально вдоль ствола дерева и достигающих 7 см в длину (рис. 1, в) [4; 2].

Затем из числа отобранных моделей при помощи перекрестной датировки были выбраны модельные деревья с требуемой давностью гибели. Для проведения перекрестной датировки на каждой пробной площадке вырезались 100 кернов из сухостойных модельных деревьев и 30 кернов из живых деревьев пихты сибирской произрастающих на прилегающих к погибшему насаждению участках леса. Отбор кернов осуществлялся при помощи бурава Преслера на высоте 1,3 метра. Обработка и анализ кернов производились в программе CooRecorder 9.3.1, построение и перекрестное датирование в программе CDendro 9.3.1 (рис. 2) [17].

После рубки модельных деревьев производилась товароведческая оценка полученного лесоматериала на наличие сортообразующих пороков, формируемых в сухостойной древесине, таких как трещины усушки, червоточины, заболонные грибные окраски, гнили. Производилась фиксация пороков и их измерение в соответствии с ГОСТ 2140–81, ГОСТ 9463–2016 [7; 8]. Объем выборки составил для насаждений, поврежденных полиграфом уссурийским, 28 модельных деревьев, для насаждений, погибших вследствие воздействия сибирского шелкопряда, 18 модельных деревьев.



Рис. 1. Сухостойные насаждения, погибшие вследствие повреждения:

а – уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford); б – сибирского шелкопряда (*Dendrolimus Sibiricus*); в – характерные следы воздействия уссурийского полиграфа на стволах пихты

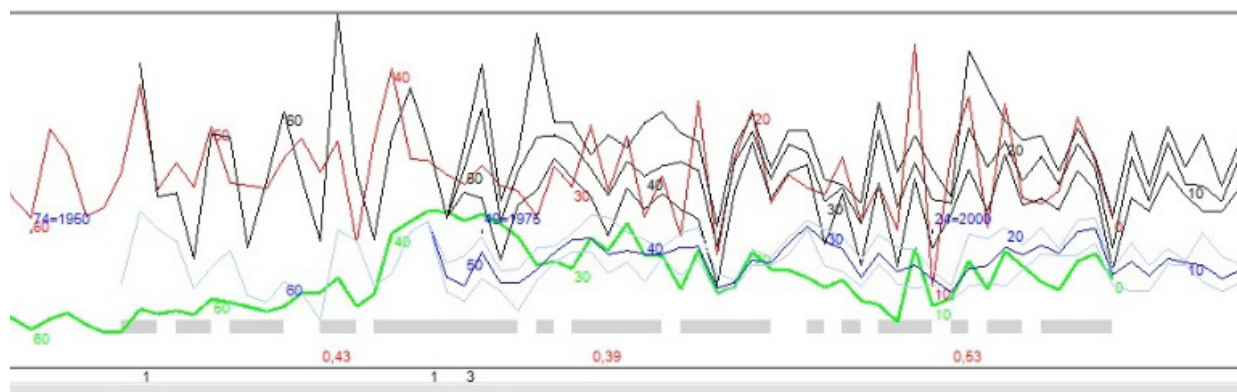


Рис. 2. График перекрёстной датировки модельного дерева

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Товароведческая оценка модельных деревьев производилась в соответствии с ГОСТ 9463–2016 «Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия» (далее – ГОСТ 9463–2016). При оценке качества лесоматериалов не учитывались пороки, формирующиеся в процессе роста дерева, определение сортности древесины осуществлялось только по порокам древесины, формирующимся в срубленной древесине. Внешний вид образцов заготовленной древесины представлен на рис. 3.

Результаты проведенной товарной оценки древесины сухостойных деревьев, погибших вследствие повреждения полиграфом уссурийским, представлены на

рис. 4. Из приведенных данных видно, что соответствующая ГОСТ 9463–2016 древесина встречается в группе с самой малой давностью гибели 3–5 лет и неожиданно в группе с самой большой давностью – 19–20 лет. В то время как в группах с 8–10-летней и 12–14-летней давностью гибели все обследованные лесоматериалы не соответствовали требованиям ГОСТ 9463–2016. При этом в группе 3–5 лет небольшая часть лесоматериалов (11 %) соответствовала 1 сорту и 30 % приходится на 4 сорт. Отдельно было отмечено, что первосортные материалы были получены в основном из деревьев с трехлетней давностью гибели. В группе 19–20 лет все соответствующие ГОСТ 9463–2016 сортаменты имеют самое низкое качество – 4 сорт.



Рис. 3. Внешний вид круглых лесоматериалов, изготовленных из сухостойной древесины торцы модельных деревьев:

a – без видимых пороков; *б* – с наличием грибных окрасок и заболонной гнили;

в, г – с наличием глубоких трещин усушки и грибных поражений

боковая поверхность модельных деревьев:

д – с наличием крупных глубоких червоточин; *е* – с повреждением боковой поверхности птицами и крупными червоточинами

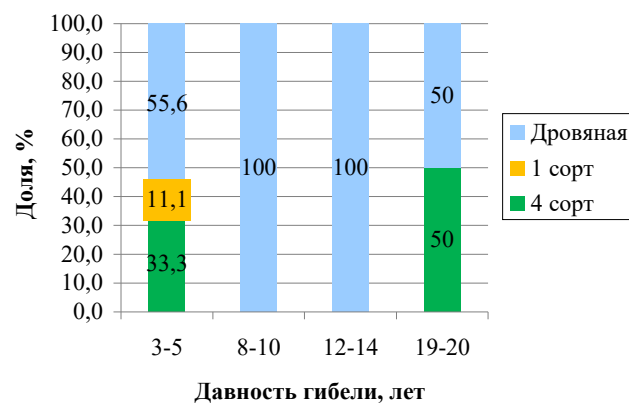


Рис. 4. Оценка качества круглых лесоматериалов из сухостоя пихты сибирской, поврежденной полиграфом уссурийским

На следующем этапе был проведен анализ причин несоответствия круглых лесоматериалов требованиям ГОСТ 9463–2016 (рис. 5). В группе с 3–5-летней давностью гибели причиной несоответствия лесоматериала требованиям стандартов в 80 % случаев являются трещины усушки, а оставшиеся 20 % приходятся на червоточины. В группе с давностью гибели 8–10 лет сортименты не соответствуют стандартам также из-за червоточин и трещин усушки, но вклад данных пороков в снижение качества примерно одинаков. В группе 12–14 лет не соответствуют ГОСТ 9463–2016 из-за трещин усушки около 70 % исследованных сортиментов. На червоточины приходится немногим более 20 %, а 7 % сортиментов не соответствовали стандарту из-за заболонной гнили. В 19–20-летней группе в 100 % случаев несоответствие ГОСТ 9463–2016 объяснялось наличием глубоких трещин усушки.

Обследование круглых лесоматериалов, изготовленных из сухостойных деревьев, погибших вследствие воздействия сибирского шелкопряда, показало следующее (рис. 6). Доля лесоматериалов, соответствующих ГОСТ 9463–2016, изготовленных из деревьев с 5-летней давностью гибели, составила немногим более 50 %, при этом почти 45 % лесоматериалов не соответствовали требованиям стандартов. Лесоматериалы из сухостойных деревьев с 8-летней давностью гибели в 100 % случаев не соответствовали требованиям ГОСТ 9463–2016.

Распределение причин несоответствия стандартам у сухостоя с 5-летней и 8-летней давностью гибели оказалось примерно одинаковым. Основной причиной несоответствия ГОСТ 9463–2016 являлись глубокие трещины усушки в 75–80 % случаев и значительно реже червоточины в 20–25 % случаев (рис. 7).

При сопоставлении качества лесоматериалов из сухостойной древесины в зависимости от причины гибели были получены следующие результаты (рис. 8). Для сравнения были использованы модельные деревья, погибшие в близкие временные интервалы от 3 до 10 лет. В насаждениях, погибших вследствие повреждения полиграфом уссурийским, была отмечена несколько более высокая доля лесоматериалов (33,3 %) не соответствующих стандартам вследствие превышения предельно допустимого количества червоточин на погонный метр. Основной же объем не кондиционных лесоматериалов (66,7 %) был обусловлен наличием глубоких трещин усушки. У деревьев, погибших в ходе вспышки массового размножения сибирского шелкопряда доля лесоматериалов, не соответствующих ГОСТ 9463–2016 из-за червоточин примерно на 10 % ниже, чем в насаждениях, поврежденных полиграфом уссурийским. При этом подавляющая часть сортиментов так же, как и в насаждениях, поврежденных полиграфом уссурийским не соответствует требованиям ГОСТ 9463–2016 из-за образования глубоких трещин усушки.

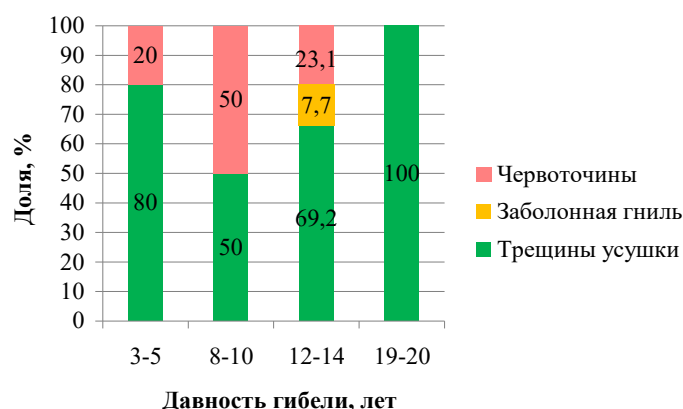


Рис. 5. Причины несоответствия круглых лесоматериалов из сухостой пихты сибирской, поврежденной полиграфом уссурийским, требованиям ГОСТ 9463–2016

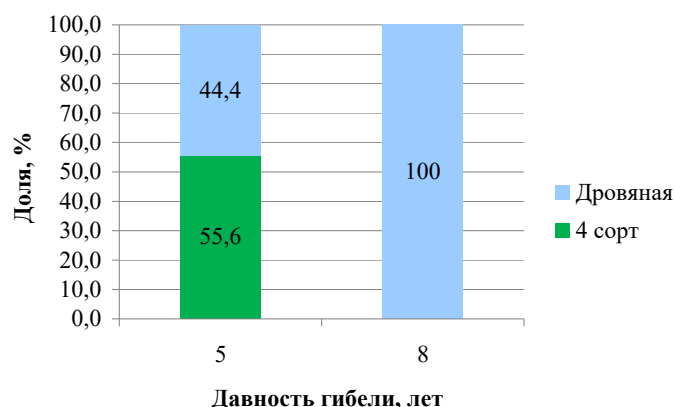


Рис. 6. Оценка качества круглых лесоматериалов из сухостой пихты сибирской, поврежденной сибирским шелкопрядом

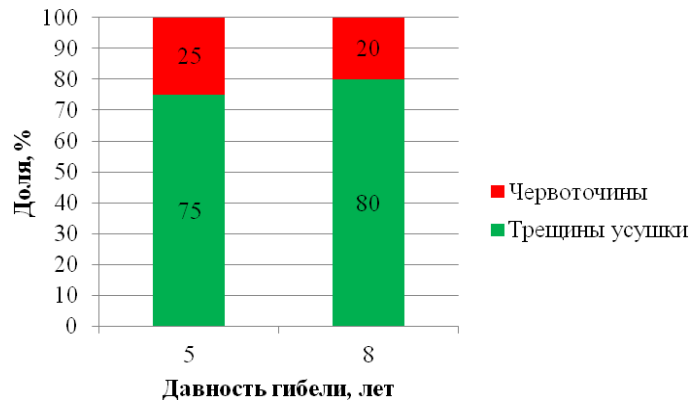


Рис. 7. Причины несоответствия круглых лесоматериалов из сухостоя пихты сибирской, поврежденной полиграфом уссурийским, требованиям ГОСТ 9463–2016

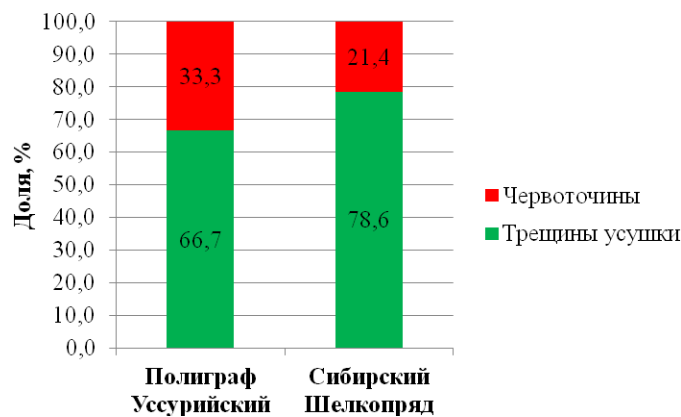


Рис. 8. Причины несоответствия ГОСТ 9463–2016 круглых лесоматериалов из сухостоя пихты сибирской, погибшей от воздействия насекомых вредителей

Обобщая полученные в ходе исследований результаты, мы видим, что сухостойные деревья утрачивают товарную стоимость стремительно. Уже к 3–5-летней давности гибели (вне зависимости от причин гибели) примерно 50 % лесоматериалов не соответствуют требованиям ГОСТ 9463–2016. При этом вторая половина лесоматериалов соответствующая требованиям стандарта в основном имеет наиболее низкий 4 сорт. Примерно такие же результаты были получены для елового сухостоя в работе [5].

Отличная картина наблюдается у сухостойных деревьев с 19–20-летней давностью гибели в насаждениях поврежденных полиграфом уссурийским. У деревьев с наибольшей давностью гибели было отмечено, что 50 % не вывалившихся к данному сроку деревьев соответствуют ГОСТ 9463–2016, хотя и имеют самое низкое качество – 4 сорт. А оставшиеся 50 % не соответствовали стандарту из-за трещин усушки, в то время как количество червоточин оставалось в допустимых пределах. Данные особенности, по-видимому, связаны с тем, что исследованные деревья погибли на ранних этапах повреждения насаждения, когда еще не произошло нарастание численности вторичных стволовых вредителей, а сомкнутый полог насаждений обеспечил более мягкий режим высыхания стволовой древесины.

Отдельно необходимо отметить, что несоответствие лесоматериалов из сухостоя стандартам обусловлено превышением предельно допустимых параметров по таким порокам древесины как трещины усушки и червоточины. В то время как широко встречающиеся в сухостое грибные поражения, как правило, имели параметры в пределах допустимых для круглых лесоматериалов. Так, например заболонная гниль встречалась практически во всех вариантах давности гибели вне зависимости от причин гибели. Однако она была приурочена к заболонной части ствола дерева, а поскольку заболонная часть у модельных деревьев имела ширину в пределах 10–20 мм, то ее доля, в общем объеме ствола, являлась незначительной. Поэтому заболонная гниль обеспечивала снижение сортности лесоматериалов, но практически никогда не являлась причиной исключения лесоматериалов из разряда деловых.

Сухостойную древесину часто признают некондиционной из-за трещин, вызванных усушкой, и червоточин. Однако её можно использовать наравне с кондиционной в качестве сырья для композиционных материалов, а также в целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности, так как в этих областях целостность древесины не играет ключевой роли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований были сделаны следующие выводы.

1. После 3–5 лет с момента гибели только 50 % сухостойной древесины пихты сибирской соответствует требованиям ГОСТ 9463–2016 для самого низкого 4 сорта.

2. 100 % сухостойных деревьев, имеющих давность гибели более 8 лет, не соответствуют требованиям стандартов предъявляемых к круглым лесоматериалам хвойных пород, что затрудняет их использование в производстве стандартных видов продукции.

3. Грибные поражения, в том числе и заболонная гниль, встречается практически во всех группах лесоматериалов по давности гибели. При этом грибные поражения практически никогда не являются причиной перевода древесины в разряд дровяной.

4. Отдельные сухостойные деревья могут в течение десятилетий сохранять качество древесины на уровне предельно допустимых по порокам параметров. Однако данные особенности являются скорее исключением, нежели правилом и характерны только для небольшой доли деревьев в сухостойных насаждениях поврежденных полиграфом уссурийским.

5. Основной порок древесины, обеспечивающий несоответствие ГОСТ 9463–2016 лесоматериалов, изготовленных из сухостоя это трещины усушки и значительно реже червоточины. Древесину с данными пороками можно успешно применять в производстве композиционных материалов, продукции целлюлозно-бумажных и лесохимических производств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бакшеева Е. О., Головина А. Н., Морозов С. А. Лесовозобновление и пожароопасность пихтовых насаждений, поврежденных полиграфом уссурийским // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. XXXIX. № 6. С. 443–450.

2. Динамика усыхания деревьев пихты сибирской в период массового размножения уссурийского полиграфа / Ю. Н. Баранчиков, Д. А. Демидко, А. В. Лаптев, В. М. Петько // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. 18. С. 132–138.

3. Баранчиков Ю. Н., Кузьмичев В. В., Корец М. А. Вспышки массового размножения сибирского шелкопряда: причины и последствия // Лесоведение. 2021. № 3. С. 45–56.

4. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири / Ю. Н. Баранчиков, В. М. Петко, С. А. Астапенко, Е. Н. Акулов, С. А. Кривец // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2011. № 4. С. 78–81.

5. Беляев И. Н. Повышение качественного выхода лесоматериалов в зоне усыхающих еловых древостоев Архангельской области : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Беляев Иван Николаевич. Архангельск, 2011. 20 с.

6. Варфоломеев Ю. А., Давитиашвили А. Ш., Пьянков И. В. Анализ деятельности лесозаготовительного предприятия в зоне усыхания лесов Архан-

гельской области // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2005. № 6. С. 128–132.

7. ГОСТ 2140–81 Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения // Стандартиформ. Москва. 2006. С. 122.

8. ГОСТ 9463–2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия // Стандартиформ. Москва, 2016. С. 35.

9. Епифанцева Н. С., Симкин Ю. Я. Оценка качества древесины лиственниц, пораженных сибирским шелкопрядом, как сырья для углежжения // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 5. С. 120–127.

10. Мазурова Е. В., Петров В. С., Каргин В. Ф. Возможность утилизации древесины, пораженной сибирским шелкопрядом // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2006. Т. 49, № 4. С. 118–120.

11. Стратегия развития лесопромышленного комплекса до 2030 года / Минпромторг РФ. Москва, 2022.

12. Государственный доклад о состоянии лесов Российской Федерации / Рослесхоз. Москва, 2023.

13. Barrette, J., Thiffault, E., Saint-Pierre, F., Wetzel, S., Duchesne, I., Krigstin, S., 2015 Dynamics of dead tree degradation and shelf-life following natural disturbances: can salvaged trees from boreal forests ‘fuel’ the forestry and bioenergy sectors? Forestry 88, 275–290. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv007>.

14. Basham, J. T., 1984. Degradation and loss of wood fibre in spruce budworm-killed timber, and effects on utilization. Forestry Chronicle 60, 10–14.

15. Basham, J. T., 1986. Biological factors influencing stem deterioration rates and salvage planning in balsam fir killed after defoliation by spruce budworm. Canadian Journal of Forest Research 16(6), 1217–1229. <https://doi.org/10.1139/x86-217>.

16. Belyea, R. M., 1952. Death and deterioration of Balsam Fir weakened by Spruce budworm defoliation in Ontario. Journal of Forestry 1, 729–738.

17. Cybis Elektronik & Data AB (2025) Technical writing, software development, photography and dendrochronology software. <https://www.cybis.se/>. Accessed 20 August 2025.

18. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загребев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошкалев. М. : Колос, 1992. 495 с.

REFERENCES

1. Baksheeva E. O., Golovina A. N., Morozov S. A. Lesovozobnovlenie i pozharoопасnost' pikhtovykh nasazhdenij, povrezhdennykh poligrafom ussurijskim // Khvojnye boreal'noj zony. 2021. T. XXXIX. № 6. С. 443–450.

2. Baranchikov Yu. N., Demidko D. A., Laptev A. V., Pet'ko V. M. Dinamika usykhanija derev'ev pikhty sibirskoj v period massovogo razmnozheniya ussurijskogo poligrafa // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik. 2014. 18. С. 132–138.

3. Baranchikov Yu. N., Kuz'michev V. V., Korec M. A. Vspyshki massovogo razmnozheniya sibirskogo shelko-

pryada: prichiny i posledstviya // Lesovedenie. 2021. № 3. S. 45–56.

4. Baranchikov Yu. N., Petko V. M., Astapenko S. A., Akulov E. N., Krivec S. A. Ussurijskij poligraf – novyj agressivnyj vreditel' pikhty v Sibiri // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnikyu. 2011. № 4. S. 78–81.

5. Belyaev, I. N. Povyshenie kachestvennogo vykhoda lesomaterialov v zone usykhayushchikh elovykh drevostoev Arkhangel'skoj oblasti : special'nost' 05.21.01 "Tekhnologiya i mashiny lesozagotovok i lesnogo khozyajstva" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Belyaev Ivan Nikolaevich. Arkhangel'sk, 2011. 20 s.

6. Varfolomeev Yu. A., Davitiashvili A. Sh., P'yankov I. V. Analiz deyatel'nosti lesozagotovitel'nogo predpriyatiya v zone usykhaniya lesov Arkhangel'skoj oblasti // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2005. № 6. S. 128–132.

7. GOST 2140–81 Vidimye poroki drevesiny. Klassifikaciya, terminy i opredeleniya, sposoby izmereniya // Standartinform. Moskva, 2006. C. 122.

8. GOST 9463–2016 Lesomaterialy kruglye khvojnykh porod. Tekhnicheskie usloviya // Standartinform. Moskva, 2016. S. 35.

9. Epifantseva N. S., Simkin Yu. Ya. Otsenka kachestva drevesiny listvennits. porazhennykh sibirskim shelkopryadom. kak syria dlya uglezhzheniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoj zhurnal. 2009. № 5. S. 120–127.

10. Mazurova E. V., Petrov B. C., Kargin V. F. Vozmozhnost utilizatsii drevesiny. porazhennoy sibirskim shelkopryadom. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy.

Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. 2006. T. 49, № 4. S. 118–120.

11. Minpromtorg R. F. Strategiya razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa do 2030 goda. Moskva, 2022.

12. Rosleskhoz. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii lesov Rossijskoj Federacii. Moskva, 2023.

13. Barrette, J., Thiffault, E., Saint-Pierre, F., Wetz, S., Duchesne, I., Krigstin, S., 2015 Dynamics of dead tree degradation and shelf-life following natural disturbances: can salvaged trees from boreal forests 'fuel' the forestry and bioenergy sectors? Forestry 88, 275–290. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv007>.

14. Basham, J. T., 1984. Degradation and loss of wood fibre in spruce budworm-killed timber, and effects on utilization. Forestry Chronicle 60, 10–14.

15. Basham, J. T., 1986. Biological factors influencing stem deterioration rates and salvage planning in balsam fir killed after defoliation by spruce budworm. Canadian Journal of Forest Research 16(6), 1217–1229. <https://doi.org/10.1139/x86-217>.

16. Belyea, R. M., 1952. Death and deterioration of Balsam Fir weakened by Spruce budworm defoliation in Ontario. Journal of Forestry 1, 729–738.

17. Cybis Elektronik & Data AB (2025) Technical writing, software development, photography and dendrochronology software. <https://www.cybis.se/>. Accessed 20 August 2025.

18. Zagreyev V. V. Sukhikh V. I., Shvidenko A. Z., Gusev N. N., Moshkalev A. G. Obshchesoyuznyye normativy dlya taksatsii lesov. M. : Kolos. 1992. 495 s.

© Елисеев С. Г., Казицин С. Н.,
Акинина Е. В., 2025

Поступила в редакцию 22.10.2025
Принята к печати 02.12.2025

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ПОСЛЕПОЖАРНОГО НИЗКОГОРНОГО КЕДРОВНИКА БЕЗ СМЕНЫ ФОРМАЦИЙ*

Н. В. Танцырев, Г. В. Андреев

Ботанический сад УрО РАН
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

Детальное исследование возрастной и видовой структуры древостоев с участием сосны кедровой (кедра сибирского) сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) позволяет восстановить происхождение и динамику их формирования и прогнозировать их дальнейшее развитие. В работе рассмотрена видовая и возрастная структура послепожарного низкогорного кедровника ягодниково-зеленомошного типа на Урале (состав 8К2Е+П, полнота 0,8). Возраст определен по количеству годовичных колец на взятых у деревьев кернах. Согласно распределению деревьев по ступеням толщины и выраженным подъемам их количества в общей возрастной структуре (70–250 лет) кедровник относительно разновозрастный. Распределение общего количества деревьев в древостое по ступеням толщины не соответствует нормальному, за счёт ели и пихты с меньшими диаметрами (24 см и 18 см соответственно), чем у кедра (40 см). Их отдельное распределение близко к нормальному. На годовичных кольцах кедра не выражен период задержки хода роста в молодом возрасте, вызванный угнетением другими быстрорастущими древесными растениями. На этом основании предполагается, что формирование и развитие послепожарного коренного темнохвойного древостоя с доминированием кедра происходило уже на стадии молодняка с более поздним интенсивным возобновлением ели и пихты и без промежуточной производной мягколиственной или светлохвойной формации. Предположительно это обусловлено значительным расстоянием до периферийных обсеменителей, в связи с чем снижается степень налёта семян анемохорных видов, и количественное соотношение подроста на гарях изменяется в пользу кедра.

Ключевые слова: *Pinus sibirica*, древостой, дендрохронологический анализ, диаметр ствола, возрастная структура, динамика возобновления.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 6, P. 96–103

STRUCTURE AND DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF POST-FIRE LOW-MOUNTAIN SIBERIAN STONE PINE FOREST WITHOUT CHANGE OF FORMATIONS

N. V. Tantsyrev, G. V. Andreev

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

A detailed study of the age and species structure of forest stands involving Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) allows us to reconstruct the origin and dynamics of their formation and to predict their future development. This paper investigates the species and age structure of a post-fire low-mountain Siberian stone pine forest of the berry-green moss type in the Urals. The age was determined by the number of annual rings on cores taken from trees. According to the distribution of trees by thickness steps and evident repeated increases in their number in the overall age structure (70–250 years), the forest stand is relatively different ages. The distribution of the total number of trees in the stand by thickness steps does not correspond to the normal one, due to spruce and fir with smaller diameters (24 cm and 18 cm, respectively) than Siberian stone pine (40 cm). Their individual distribution is close to normal. The annual rings of Siberian stone pine do not show a period of growth retardation at a young age, caused by suppression by other fast-growing woody plants. On this basis, it is assumed that the formation and development of the post-fire indigenous dark coniferous forest with a dominance of Siberian stone pine occurred already at the young stand stage. Intensive regeneration of spruce and fir occurred later and the forest developed without an intermediate derivative soft-leaved or light-coniferous formation. This is presumably due to the significant distance to peripheral seed sources. In this regard, the degree of seed deposition of anemochorous species decreases, and the quantitative ratio of undergrowth on continuous burnt areas changes in favor of Siberian stone pine.

Keywords: *Pinus sibirica*, forest stand, dendrochronological analysis, trunk diameter, age structure, regeneration dynamics.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический сад УрО РАН.

ВВЕДЕНИЕ

Детальное изучение структурной организации лесных биогеоценозов позволяет не только восстановить происхождение и динамику их формирования, но и прогнозировать и моделировать их дальнейшее развитие [3; 26; 32]. В этой связи исследование возрастной и видовой структуры древостоев с участием сосны кедровой (кедра сибирского) сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в разных типах леса и степени насыщенности их подростом [2–4; 10] по-прежнему остаётся одним из приоритетных направлений лесной науки. Большое разнообразие кедровников, произрастающих в разных природных условиях, позволяет предположить существование различных путей их формирования и поддержания устойчивости, отражённых в структуре древостоев [10].

Согласно исследованиям, проведённым в зеленомошной группе типов леса Зауралья и Западной Сибири, восстановительно-возрастная динамика развития большинства послепожарных кедровников, в которых кедр сибирский представлен первыми послепожарными генерациями, протекает в несколько фаз и периодов через производную мягколиственную формацию [1; 7; 13; 16; 19; 21; 31]. Большая долговечность и устойчивость позволяет ему пережить сопутствующие лесообразующие древесные растения. В результате такой динамики могут формироваться, как относительно одновозрастные кедровники из первых послепожарных генераций [7], так и условно-одновозрастные с возрастным диапазоном деревьев до 40, иногда до 80 лет [9], с учётом последующего подпологового возобновления. В случае растянутости сроков послепожарного возобновления с повторным воздействием экзогенных разрушительных факторов и появлением новых демутационных поколений могут формироваться относительно разновозрастные кедровники с возрастной амплитудой 60–120 лет [19]. Разновозрастные кедровники формируются в результате длительного их развития в естественных условиях (в среднем 300–500 лет) без смены первого послепожарного поколения и под воздействием повторных пожаров с восполнением последующими генерациями в процессе распада древостоев [9]. Тем не менее, при определенных условиях возможно образование послепожарных кедровников без смены на промежуточную мягколиственную формацию и существенного угнетения кедров в молодом возрасте [22; 23]. Особенно это характерно для его восточной части ареала [6]. Предполагается, что без начального угнетения кедровники способны развиваться так же быстро, как и древостои других хвойных видов.

Характерной особенностью кедровников, развившихся через промежуточную производную мягколиственную или светлохвойную формацию, является задержка хода роста деревьев кедров сибирского в молодости в результате угнетения их более быстрорастущими лесообразующими древесными растениями [6; 31]. Индикатором такой задержки хода роста, как и всей многолетней динамики, выступают параметры годовичных древесно-кольцевых хронологий. Годичные кольца являются тем естественным маркером роста деревьев, который действительно фиксирует много-

летнюю информацию об их состоянии, предоставляет уникальную возможность реконструировать процессы динамики на фоне изменений внешней среды и определить устойчивость их сообществ [25; 27].

Цель данной работы – на основе изучения видовой и возрастной структуры низкогорного послепожарного кедровника ягодниково-зеленомошного реконструировать условия и динамику его возобновления и формирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в низкогорном (300 м над ур. м.) кедровнике ягодниково-зеленомошном в районе горы Павдинский Камень на границе Среднего и Северного Урала в полосе их восточного макросклона (Новолялинское лесничество, Свердловская область). По лесорастительному районированию [8] район проводимых исследований относится к Уральской горно-лесной области, низкогорной провинции, среднетаежному округу.

Сплошной перебор деревьев, подростов и других древесных растений и учёт условий среды осуществлён на 71 учётной круговой площадке постоянного радиуса 7 м, систематически равномерно размещённых в кедровнике. Общая площадь перебора составила 1,1 га. На учётных площадках у 200 деревьев кедров, 199 елей (*Picea obovata* Ledeb) и 76 пихт (*Abies sibirica* Ledeb) были измерены диаметры на высоте 1,3 м и распределены по 4-сантиметровым ступеням толщины. У модельных деревьев каждой ступени толщины высотометром измерена высота. На основании замеров диаметров и высот были вычислены объёмы стволовой древесины по объёмным таблицам Е. П. Смолоногова и С. В. Залесова [20] для кедров и таблицам П. В. Верхунова и В. Л. Черных [12] для елей и пихт.

Изучение возрастной структуры древостоя проводилось на основе дендрохронологического анализа. С этой целью у 120 деревьев кедров, 118 елей и 40 пихт на высоте около 0,5 м от поверхности почвы с помощью возрастного бура были взяты керны. Исследование кернов, определение по годовичным кольцам возраста и хода роста по величине радиального прироста проводилось на аппаратуре LinTab-6. Обработка материалов проводилась с использованием электронных таблиц MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно, установленному по результатам исследования кернов максимальному возрасту деревьев (около 250 лет с небольшой погрешностью), предполагается, что появление и развитие рассматриваемого древостоя началось после пожара, случившегося ориентировочно около 1765–1770 гг. Подтверждением послепожарного происхождения древостоя могут служить, не включённые в общий перебор, единичные деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) диаметром 48–56 см без пожарных ран. Кроме общего перебора у трёх деревьев кедров диаметром 72–76 см был установлен возраст около 520 лет и у двух елей диаметром 52 см – около 320 лет. На стволах этих деревьев сохранились заросшие пожарные подсушины, которые у деревьев меньшего диаметра не встречались, что означает, что в процессе развития древо-

стоя повторных низовых пожаров под его пологом не происходило. Сохранность дожарных единичных деревьев, скорее всего, связана с их произрастанием в несколько увлажненных микропонижениях. Напочвенный моховой покров здесь представлен фрагментами *Politrichum commune* Hedw при общем преобладании *Pleurosim shrebery* (Brid.) Mill.

Согласно табл. 1, состав древостоя по запасу 8К2Е+П с относительной полнотой – 0,8. Преобладание по запасу кедр обусловлено более крупными размерами его деревьев по сравнению с елью и пихтой. Деревья кедр средним диаметром 40 см и ели средним диаметром 24 см формируют верхний (первый) ярус древостоя средней высотой 23 м с единичным участием пихты. Второй ярус высотой 16 м формируется преимущественно пихтой средним диаметром 18 см с некоторым единичным участием кедр и ели. По своей структуре древостой не однороден – встречаются как сомкнутые участки с густым размещением деревьев, так и прогалины, образовавшиеся в результате естественного вывала деревьев.

Распределение количества деревьев кедр по ступеням толщины по критерию Колмогорова-Смирнова близко к нормальному ($\lambda = 0,52 < \lambda_{0,05} = 1,36$). Без учёта дожарных деревьев диаметром 72–76 см, которые обусловили соответствующий локальный подъем на графике распределения (рис. 1), соответственно, $\lambda = 0,74 < \lambda_{0,05} = 1,36$. График имеет относительно многовершинный характер с максимумами в 44 см, и 52 см и характеризуется малыми отрицательными значениями асимметрии ($A = -0,057$) и эксцесса

($E = -0,056$), статистически не значимыми ($t_A = -0,327$ и $t_E = -0,160$, соответственно). При этом имеются локальные подъёмы в ступенях толщины: 16 см, 32 см и 72 см, и минимумы – 20 см, 36 см и 48 см. Без учёта дожарных деревьев для их распределения характерны более высокие абсолютные отрицательные значения асимметрии ($A = -0,308$) и эксцесса ($E = -0,452$). Коэффициент вариации для всех деревьев $CV = 30,4 \%$, а без учёта дожарных – 29,2 %, что характерно для разновозрастных древостоев. Тем самым, выражена дифференциация деревьев кедр на господствующие, индетерминантные и угнетенные [5] и некоторая разновозрастность.

Распределение количества деревьев ели по ступеням толщины близко к нормальному ($\lambda = 0,67 < \lambda_{0,05} = 1,36$), а без учёта дожарных деревьев диаметром 52 см (рис. 1), соответственно $\lambda = 0,51 < \lambda_{0,05} = 1,36$. По сравнению с кедром распределение более укорочено, характеризуется положительными статистически значимыми показателями ($t_A = 4,104$ и $t_E = 3,533$) асимметрии ($A = 0,713$) и эксцесса ($E = 1,277$). Без учёта дожарных деревьев показатель асимметрии оказался меньше ($A = 0,254$), а эксцесса – отрицательный ($E = -0,461$). Кривая распределения по ступеням толщины характеризуется одновершинностью с максимумом в 24 см. Изменчивость диаметра составила $CV = 27,2 \%$, а без дожарных деревьев – 29,2 %.

Распределение деревьев пихты по ступеням толщины одновершинное с максимумом в 16 см (рис. 1) и коэффициентом вариации $CV = 31,9 \%$, несколько большим, чем у ели и кедр.

Таблица 1
Количественная характеристика древостоя

Вид	А, лет	D, см	H, м	N, шт./га	ΣG м ² /га	М м ³ /га	р	Состав древостоя, %	
								по количеству	по запасу
Кедр	120–250 ед. 520	40 72	24 25	182	24,8	330	0,53	42,1	76,4
Ель	130–250 ед. 320	24 52	22 28	181	8,6	89	0,21	41,9	20,5
Пихта	70–200	18	16	69	1,6	13	0,05	16,0	3,1
В целом по древостою		30	22	432	35,0	432	0,79	100	100

Примечания. А – возраст деревьев, лет; D – средний диаметр деревьев на высоте 1,3 м, см; H – средняя высота деревьев, м; N – количество деревьев, шт./га; ΣG – сумма площадей сечений деревьев на высоте 1,3 м, или абсолютная полнота, м²/га; М – запас стволовой древесины, м³/га; р – относительная полнота.

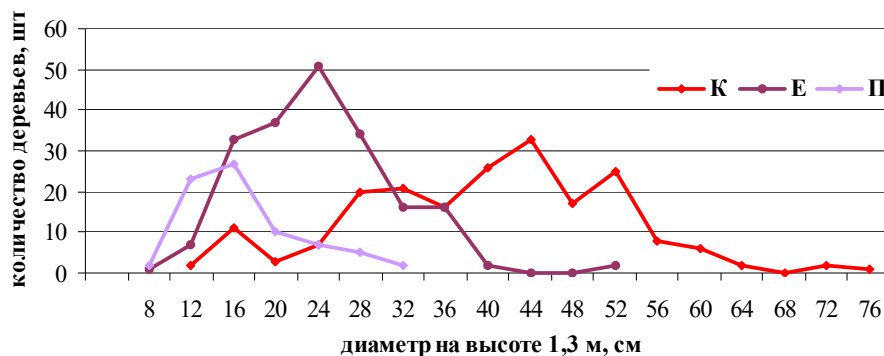


Рис. 1. Распределение деревьев лесобразующих видов в древостое по ступеням толщины: К – кедр; Е – ель; П – пихта

Различие распределений деревьев кедра и ели оказалось достоверным ($\lambda = 6,032 > \lambda_{0,001} = 1,95$). Из-за сравнительно меньшего в перечете количества деревьев пихты (76 шт.), чем кедр (200 шт.) и ели (199 шт.), достоверность различия распределений кедр и пихты, а также ели и пихты, не выявлена.

Распределение общего количества деревьев (рис. 2) не соответствует нормальному ($\lambda = 2,33 > \lambda_{0,001} = 1,92$). Большинство деревьев, в первую очередь за счет ели и пихты с меньшими диаметрами, чем у кедр, сосредоточено в левой части графика кривой распределения. Для их общего количества характерен положительный и значимый показатель ($t = 6,171$) коэффициента асимметрии ($A = 0,694$) и отрицательный не значимый ($t = -0,578$) эксцесса ($E = -0,130$). Это обусловлено сложным характером древостоя, который выражен более высоким коэффициентом вариации диаметра ($CV = 44,0\%$) по сравнению с отдельно взятыми лесообразователями: кедром, елью и пихтой.

По установленному по кернам с определенной погрешностью возрасту деревьев (с учетом высоты их взятия 0,5 м), все деревья послепожарных генераций были распределены по 10-летним возрастным группам (рис. 3). Согласно полученным данным возрастной диапазон большей части деревьев кедр в составе основного послепожарного древостоя составляет около 80 лет (в возрасте 170–250 лет), ели – 90 лет (в возрасте 160–250 лет). В небольшом количестве (не

более 2–3 %) в древостое встречаются деревья кедр и ели более поздних генераций (120–160-летнего возраста). Вместе с ними общий послепожарный возрастной диапазон кедр составляет 130 лет, ели – 120 лет. Деревья пихты представлены возрастным диапазоном 130 лет в возрасте 70–200 лет. Последнее обусловлено её меньшей продолжительностью жизни, теневыносливостью и способностью развиваться под пологом кедровников. В целом, возрастная структура деревьев кедр имеет выраженные всплески численности (рис. 3), что присуще разновозрастным кедровникам за счёт его мозаичного возобновления в прогалинах при фрагментарном вывале деревьев [14; 17].

Какой-либо связи диаметра деревьев с их возрастом не выявлено. Возможно, это вызвано относительной разновозрастностью древостоя. Поскольку длительность процесса формирования разновозрастных древостоев приводит к некоторому выравниванию их строения по диаметру и высоте [10].

В соответствии с распределением деревьев кедр по группам возраста, около 12 % их в возрасте 240–250 лет появилось в первое десятилетие после пожара (рис. 3). В следующее десятилетие появилось не более 3 % деревьев. В последующие два десятилетия наблюдалось более интенсивное возобновление. На долю деревьев возрастных групп 210–220 лет и 220–230 лет приходится соответственно 15 и 21 % от их общего количества.

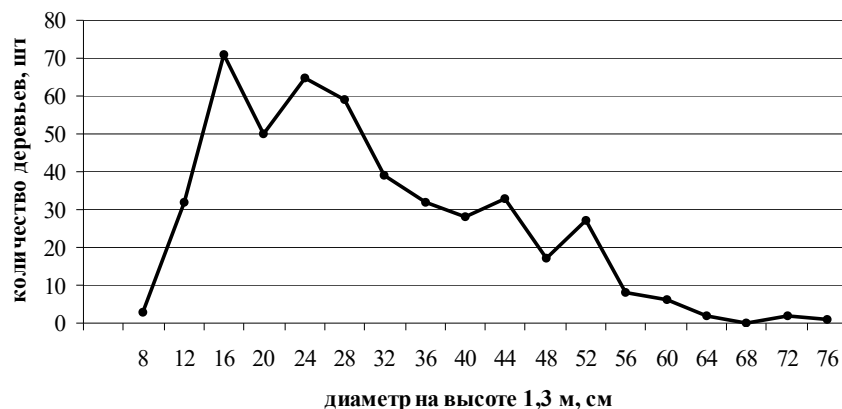


Рис. 2. Распределение общего количества деревьев в древостое по ступеням толщины

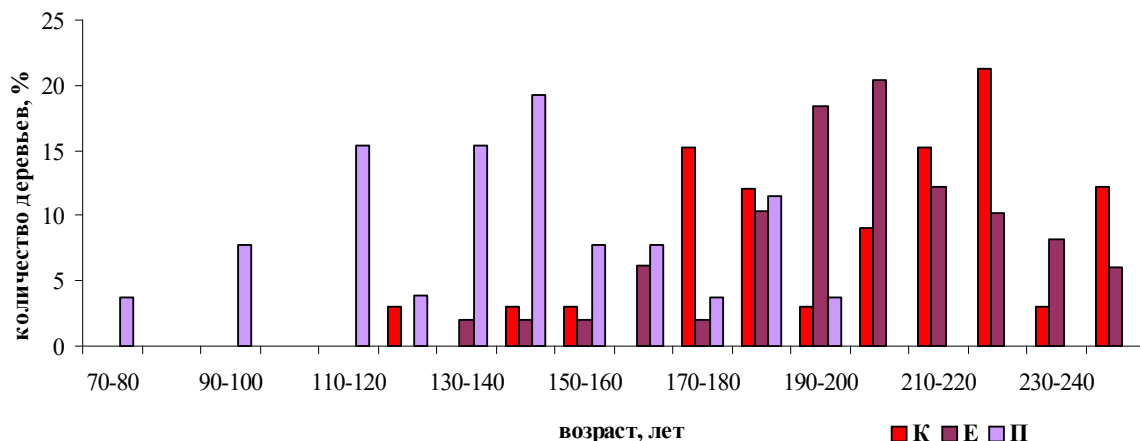


Рис. 3. Послепожарная возрастная структура древостоя по видовому составу:
К – кедр; Е – ель; П – пихта

В последующие 40 лет их появление происходило с разной интенсивностью (3–15 %). Тем самым, возрастная структура соответствует динамике возобновления кедров на гарях в зеленомошных типах леса. Согласно этой динамике первоначальное возобновление кедров происходит в короткие сроки – в течение 10–12 лет после пожара и одновременно с другими лесобразующими древесными растениями [6; 7; 19; 22; 31], после чего следует некоторое замедление, обусловленное разрастанием травянистой, кустарниковой и древесной растительности. Через 15–20 лет после пожара, по мере развития молодого древостоя и восстановления под его пологом мохового покрова постепенно начинает реализовываться так называемая вторая «волна» возобновления кедров [1; 11; 22].

По сравнению с кедром возрастная структура ели имеет одновершинную форму (рис. 3), согласно которой первоначальное возобновление ели в первое десятилетие после пожара происходило одновременно с кедром, но с меньшей интенсивностью (6 % от общего количества). С каждым следующим десятилетием после пожара примерно до 40 лет происходило ее плавное увеличение (на 2 %). Наиболее представлены возрастные группы 200–210 лет (20,5 %) и 190–200 лет (18,5 %), т. е. появившиеся через 40–60 лет после пожара. В возрастной структуре пихты также просматриваются всплески возобновления, характерные для разновозрастных древостоев. Деревья старше 200 лет не встречаются, что может быть вызвано, как более поздним интенсивным возобновлением пихты (спустя почти 50 лет после пожара) под пологом древостоя, так и меньшей долговечностью пихты по сравнению с кедром и елью.

По сравнению с кедром (36,5 % от общего количества деревьев кедров), менее обильное в течение первых трех десятилетий первоначальное послепожарное возобновление ели (24,5 % от общего количества деревьев ели), вероятнее всего, было обусловлено относительно большим расстоянием до периферийных источников семян [23] и недостатком сохранившихся единичных внутригосударственных обсеменителей. При лесовозобновлении на обширных гарях по мере увеличения расстояния от их периферии к центральной части количественное соотношение подростов изменяется в пользу кедров по сравнению с анемохорными видами [23; 30]. Это вызвано способностью тонкоклювой кедровки (*Nucifraga caryocatactes macrorhynchos* Brehm C. L.) переносить семена кедров на расстояния до нескольких километров [1; 11; 28; 29], т. е. на расстояния, которых семена анемохорных лесобразующих видов не достигают.

На кернах кедров по параметрам годичных колец не выявлено периода угнетения на раннем этапе развития, характерного для деревьев, развивающихся под пологом мягколиственных и светлососновых древостоев [6]. На этом основании можно предположить, что рассматриваемый древостой формировался на обширной гари на значительном расстоянии до ее периферии – не менее 200–300 м, как относительно низкорослый темнососновый молодняк с изначальным доминированием кедров, единичным участием сосны, и без участия мягколиственных [23]. Ближе к

периферии гари, по всей вероятности, в составе сформировавшихся послепожарных древостоев преобладала сосна. Рассматриваемый кедровник окружен средневозрастными хвойно-мягколиственными древостоями, сформировавшимися на месте сплошных вырубков 1960-х гг., где частично сохранились полуразложившиеся крупные пни сосны. Возможно, на начальном этапе в составе формирующегося молодняк участвовало некоторое количество представителей крупнокустарникового подлеска – ивы козьей и рябины, характерное для района исследований [23]. Они могли выполнять роль мягколиственных и вместе с хвойными древесными растениями, по мере их развития, способствовать вытеснению трав и восстановлению зеленомошного покрова, в котором кедровка вновь начала интенсивно создавать запасы семян. Выраженные в возрастной структуре последующие всплески возобновления кедров могут быть также связаны и с накоплением полуразложившихся древесных стволов с моховым покровом на их поверхности, привлекающих для создания запасов кедровками [22]. Вывал погибших в результате пожара деревьев может протекать в течение длительного времени, иногда до нескольких десятилетий. После вывала через 15–30 лет их поверхность начинает покрываться мхами [18]. Доля их участия в общей поверхности бывших гарей может достигать 12–20 %. Характерно, что развитие подростов кедров на таких микроповышениях из полуразложившихся древесных стволов с моховым покровом происходит вне корневой и иногда световой конкуренции со стороны других древесных растений [24]. Вывал крупных деревьев, как правило, вызывает повреждение и гибель подлеска, подростов и тонкомерных деревьев. Тем самым, в пологом формирующегося древостоя могли появляться прогалины, обеспечивающие беспрепятственный подлёт кедровок к предпочитаемому субстрату. Подрост, появившийся и развивающийся в этих прогалинах, также мог не испытывать угнетения.

Более интенсивное возобновление и накопление ели и появление пихты в последующие десятилетия, вероятно, вызвано достижением деревьев первых послепожарных поколений репродуктивного возраста и началом постоянного их семенения. Тем самым, происходит поступательная пространственно-временная экспансия ели и пихты по территории бывшей гари от периферии к ее центральной части, где изначально доминировал кедр, и соответственно увеличение доли их участия в составе развивающегося древостоя.

С одной стороны, в связи с накоплением в составе древостоя пихты в дальнейшем можно предположить необратимую смену кедров [15; 17; 23]. С другой стороны, при достижении деревьями пихты сибирской предельного возраста и распада их биогрупп возможно внедрение в древостой молодых особей кедров [10] с учетом его подростов (1,5 тыс. экз./га) возрастом до 70 лет и высотой до 6 м, произрастающего в прогалинах и на полуразложившемся древесном валеже. В результате таких циклических смен доминирования сибирского кедров и пихты сибирской в локальных условиях и периодического выхода молодых поколе-

ний в полог древостоя происходит дальнейшее развитие абсолютно разновозрастного кедровника

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно распределению деревьев по ступеням толщины и их послепожарному возрастному диапазону рассматриваемый кедровник ягодниково-зеленомошный следует считать относительно разновозрастным. Распределение в древостое по ступеням толщины отдельно деревьев кедров сибирского, ели и пихты является близким к нормальному, а для ели и пихты, кроме того, характеризуется как одновершинное. Распределение общего количества деревьев не соответствует нормальному. Для него характерен больший коэффициент вариации, чем для отдельно взятых лесообразователей. Это обусловлено более поздним интенсивным возобновлением ели и еще более поздним подпологовым возобновлением пихты.

Согласно возрастной структуре и отсутствию на годовичных кольцах деревьев кедров сибирского выраженного периода угнетения в молодом возрасте, формирование и развитие послепожарного коренного кедровника происходило уже на стадии молодняка при отсутствии промежуточной производной мягколиственной или светлехвойной формации. В дальнейшем, по мере развития подростов кедров в прогалинах, возможно дальнейшее изменение возрастной структуры кедровника в направлении увеличения его разновозрастности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- Бех И. А., Воробьев В. Н. Потенциальные кедровники. Проблемы кедров. Томск : СО РАН, Ин-т экологии природных комплексов – филиал ин-та леса им. В. Н. Сукачёва. 1998. Вып. 6. 123 с.
- Брюханов И. И. Особенности формирования и роста кедровых лесов в различных ландшафтных условиях Восточного Саяна // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки. 2021. № 5. С. 12–15. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.05.05
- Данилина Д. М., Назимова Д. И., Коновалова М. Е. Пространственно-временная структура и динамика позднесукцессионного черневого кедровника Западного Саяна // Лесоведение. 2020. № 5. С. 387–398. DOI: 10.31857/S0024114820050034
- Зиганшин Р. А. Лесной массив: сравнительная динамика среднего диаметра хвойных древостоев различных типов леса // Сибирский лесной журнал. 2019. № 6. С. 39–52. DOI: 10.15372/SJFS20190605
- Ипатов В. С. Дифференциация деревьев в лесных сообществах // Биосфера. 2010. Т. 2, № 4. С. 544–553.
- Кедровые леса Сибири / под ред. И. В. Семечкина, Н. И. Поликарпова, А. И. Ирошников и др. Новосибирск : Наука, 1985. 226 с.
- Кирсанов В. А. Формирование и развитие кедровника зеленомошно-ягодникового на Северном Урале // Восстановительная и возрастная динамика лесов на Урале и в Зауралье. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1976. С. 104–112.
- Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: практическое руководство. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.
- Комин Г. Е., Семечкин И. В. Возрастная структура древостоев и принципы ее типизации // Лесоведение. 1970. № 2. С. 24–34.
- Размерная и возрастная структура горных кедровников Приенисейских Саян / М. Е. Коновалова, Е. Г. Коновалова, Е. Н. Цветков, Д. Д. Генов // Сибирский лесной журнал. 2020. № 3. С. 51–62. DOI: 10.15372/SJFS20200305
- Крылов Г. В., Таланцев Н. К., Козакова Н. Ф. Кедр. М. : Лесная пром-сть, 1983. 216 с.
- Лесотаксационный справочник для лесов Урала / П. М. Верхунов, А. В. Попова, В. Л. Черных, И. В. Мамаев. М. : ЦБНТИлесхоз. 1991. Ч. I, II. 483 с.
- Николаева С. А., Бех И. А., Савчук Д. А. Оценка этапов восстановительно-возрастной динамики темнохвойно-кедровых лесов по дендрохронологическим данным (на примере Кеть-Чулымского Междуречья) // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2008. № 3(4). С. 180–185.
- Поликарпов Н. П. Комплексные исследования в горных лесах Западного Саяна // Вопросы лесоведения. Красноярск, 1970. С. 26–79.
- Поляков В. И., Семечкин И. В. Динамика и устойчивость разновозрастных черневых кедровников Западного Саяна // Лесоведение. 2004. № 2. С. 12–19.
- Седых В. Н. Динамика равнинных кедровых лесов Сибири. Новосибирск : Наука, 2014. 232 с.
- Семечкин И. В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. 253 с.
- Скворцова Е. Б., Уланова Н. Г., Басевич В. Ф. Экологическая роль ветровалов. М. : Лесная пром-сть, 1983. 192 с.
- Смолоногов Е. П. Эколого-географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно-Сибирской равнины (эколого-лесоводственные основы оптимизации хозяйства). Свердловск : РИСО УрО АН СССР, 1990. 288 с.
- Смолоногов Е. П., Залесов С. В. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург : УГЛТУ, 2002. 186 с.
- Смолоногов Е. П., Кирсанов В. А., Трусов П. Ф. Особенности возрастной динамики темнохвойно-кедровых лесов Северного Урала. // Использование и воспроизводство кедровых лесов. Новосибирск : Наука, 1971. С. 72–81.
- Танцырев Н. В. Начальная фаза формирования послепожарных горных кедровников на Северном Урале // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. XL, № 5. С. 395–403. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-5-395-403
- Танцырев Н. В. Условия и перспективы формирования послепожарного зеленомошного кедровника на стадии молодняка // Лесной вестник. 2024. Т. 28. № 3. С. 48–56. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-3-48-56
- Танцырев Н. В., Андреев Г. В. Влияние конкуренции материнского древостоя на рост подростов

кедра сибирского на основных типах субстрата // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2020. № 2(59). С. 145–153. DOI: 10.34655/bgsha.2020.59.2.020

25. Цибульский В. Р. Оценка устойчивости био-разнообразия севера Западной Сибири через стационарность древесно-кольцевых временных рядов видов-эдикаторов // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т. 4. № 2. С. 44–57. DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-44-57

26. Bilek L., Remes J., Zahradnik D. Managed vs. unmanaged. structure of beech forest stands (*Fagus sylvatica* L.) after 50 years of development, Central Bohemia // Forest Systems. 2011. Vol. 20. Is. 1. P. 122–138.

27. A *Pinus cembra* L., tree-ring record for late spring to late summer temperature in the Rhaetian Alps, Italy / R. Cerrato, M. C. Salvatore, B. E. Gunnarson, H. W. Linderholm, L. Carturan, M. Brunetti, F. De Blasi, C. Baroni // Dendrochronologia. 2019. 53. P. 22–31. <https://doi.org/10.106/j.dendro.2018.10.010>

28. Ivanova N., Tantsyrev N., Li G. Regeneration of *Pinus sibirica* Du Tour in the Mountain Tundra of the Northern Urals against the Background of Climate Warming // Atmosphere. 2022. Vol. 13. P. 1196. <https://doi.org/10.3390/atmos13081196>

29. Lanner R. M. Made for each other. A symbiosis of birds and pines. New York, Oxford : Oxford University Press, 1996, 160 p.

30. Regeneration of *Larix sibirica* boreal forest patches in the forest-steppe ecotone in Gorkhi Terej National Park, Mongolia / H. Li, K. Kawada, H. Ohashi, U. Jamsran, X. Hu, K. Tamura, T. Kamijo // Journal of Forest Research. 2019. 24(1). P. 52–60. <https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1557101>

31. Succession after stand replacing disturbances by fire, wind throw, and insects in the dark Taiga of Central Siberia / E. D. Schulze, C. Wirth, D. Mollicone, W. Ziegler // Oecologia. 2005. 146(1). P. 77–88. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0173-6>

32. Long-term changes in vegetation and site conditions in beech and spruce forests of lower mountain ranges of Central Europe / S. Vacek, T. Cerny, Z. Vacek, V. Podrazsky, M. Mikeska, I. Kralicek // Forest Ecology & Management. 2017. Vol. 398. P. 75–90.

REFERENCES

1. Bekh I. A., Vorob'yev V. N. Potentsial'nye kedrovniki. Problemy kedra. Tomsk : SO RAN, Institut ekologii prirodnykh kompleksov – filial instituta lesa im. V. N. Sukachyova. 1998. Vypusk 6. 123 s.

2. Bryukhanov I. I. Osobennosti formirovaniya i rosta kedrovnykh lesov v razlichnykh landshaftnykh usloviyakh Vostochnogo Sayana // Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2021. № 5. S. 12–25. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.05.05

3. Danilina D. M., Nazimova D. I., Konovalova M. E. Prostranstvenno-vremennaya struktura i dinamika pozdnesukstsessionnogo chernevogo kedrovnika Zapadnogo

Sayana // Lesovedenie. 2020. № 5. S. 387–398. DOI: 10.31857/S0024114820050034

4. Ziganshin R. A. Lesnoj massiv: sravnitel'naya dinamika srednego diametra khvojnykh drevostoev razlichnykh tipov lesa // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2019. № 6. S. 39–52. DOI: 10.15372/SJFS20190605

5. Ipatov V. S. Differentsiatsiya derev'ev v lesnykh soobshchestvakh // Biosfera. 2010. T. 2, № 4. S. 544–553.

6. Kedrovye lesa Sibiri / I. V. Semechkin, N. I. Polikarpov, A. I. Iroshnikov i dr. Novosibirsk : Nauka, 1985. 226 s.

7. Kirsanov V. A. Formirovanie i razvitie kedrovnika zelenomoshno-yagodnikovogo na Severnom Urale // Vosstanovitel'naya i vozrastnaya dinamika lesov na Urale i v Zaural'e. Sverdlovsk : UNTs AN SSSR. 1976. S. 104–112.

8. Kolesnikov B. P., Zubareva R. S., Smolonogov E. P. Lesorastitelnye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti. Sverdlovsk : UNTs AN SSSR. 1973. 176 s.

9. Komin G. E., Semechkin I. V. Vozrastnaya struktura drevostoev i printsipy eyo tipizatsii // Lesovedenie. 1970. № 2. S. 24–34.

10. Konovalova M. E., Konovalova E. G., Tsvetkov E. N., Genov D. D. Razmernaya i vozrastnaya struktura gornnykh kedrovnikov Prieniseyskikh Sayan // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2020. № 3. S. 51–52.

11. Krylov G. V., Talantsev N. K., Kozakova N. F. Kedr. Moscow : Lesnaya promyshlennost', 1983. 216 s.

12. Lesotaksatsionnyj spravochnik dlya lesov Urala / P. M. Verkhunov, A. V. Popova, V. L. Chernykh, I. V. Mamaev. Moscow : TsBNTIleskhoz. 1991. Ch. I, II. 483 s.

13. Nikolayeva S. A., Bekh I. A., Savchuk D. A. Otsenka etapov vosstanovitel'no-vozrastnoj dinamiki temnokhvojno-kedrovnykh lesov po dendrokronologicheskim dannym (na primere Ket'-Chulym'skogo Mezhdurech'ya) // Vestnik Tomskogo gos. universiteta. Biologiya. 2008. № 3(4). S. 180–185.

14. Polikarpov N. P. Kompleksnye issledovaniya v gornnykh lesakh Zapadnogo Sayana // Voprosy lesovedeniya. Krasnoyarsk: 1970. S. 26–79.

15. Polyakov V. I., Semechkin I. V. Dinamika i ustoychivost' raznovozrastnykh chernevykh kedrovnikov Zapadnogo Sayana // Lesovedenie. 2004. № 2. S. 12–19.

16. Sedykh V. N. Dinamika ravninnykh kedrovnykh lesov Sibiri. Novosibirsk : Nauka, 2014. 232 s.

17. Semechkin I. V. Struktura i dinamika kedrovnikov Sibiri. Novosibirsk : Izdatel'stvo SO RAN, 2002. 253 s.

18. Skvortsova E. B., Ulanova N. G., Basevich V. F. Ekologicheskaya rol' vetrovalov. Moscow : Lesnaya promyshlennost', 1983. 192 s.

19. Smolonogov E. P. Ekologo-geograficheskaya differentsiatsiya i dinamika kedrovnykh lesov Urala i Zapadno-Sibirskoy ravniny (ekologo-lesovodstvennye osnovy optimizatsii khozyajstva). Sverdlovsk : RISO UrO AN SSSR. 1990. 288 s.

20. Smolonogov E. P., Zalesov S. V. Ekologo-lesovodstvennye osnovy organizatsii i vedeniya khozyajstva v kedrovnykh lesakh Urala i Zapadno-Sibirskoy ravniny. Ekaterinburg : ULTI, 2002. 186 s.

21. Smolonogov E. P., Kirsanov V. A., Trusov P. F. Osobennosti vozrastnoj dinamiki temnokhvojno-kedrovnykh lesov Severnogo Urala // Ispolzovanie i vospro-

izvodstvo kedrovых лесов. Novosibirsk : Nauka. 1971. S. 72–81.

22. Tantsyrev N. V. Nachal'naya faza formirovaniya poslepozharных горных кедровников на Северном Урале // *Khvojnye borealnoj zony*. 2022. T. XL, № 5. S. 395–403. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-6-395-403

23. Tantsyrev N. V. Usloviya i perspektivy formirovaniya poslepozharного зеленмошного кедровника на стадии молодняка // *Lesnoj vestnik*. T. 28, № 3. S. 48–56. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-3-48-56

24. Tantsyrev N. V., Andreev G. V. Vliyanie konkurentсии материнского древостоя на рост подрастающего кедровника на основных типах субстрата // *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaystvennoj akademii im. V. R. Filippova*. 2020. № 2(59). S. 145–153. DOI: 10.34655/bgsha.2020.59.2.020

25. Tsibul'skij V. R. Otsenka ustojchivosti bioraznoobraziya severa Zapadnoj Sibiri cherez statsionarnost' drevesno-kol'tsevykh vremennykh ryadov vidov-edifikatorov // *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*. 2018. T. 4. № 2. S. 44–57. DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-44-57

26. Bilek L., Remes J., Zahradnik D. Managed vs. unmanaged. structure of beech forest stands (*Fagus sylvatica* L.) after 50 years of development, Central Bohemia // *Forest Systems*. 2011. Vol. 20. Is. 1. P. 122–138.

27. Cerrato R., Salvatore M. C., Gunnarson B. E., Linderholm H. W., Carturan L., Brunetti M., De Blasi F., Baroni C. A *Pinus cembra* L., tree-ring record for late

spring to late summer temperature in the Rhaetian Alps, Italy // *Dendrochronologia*. 2019. 53. P. 22–31. <https://doi.org/10.106/j.dendro.2018.10.010>

28. Ivanova N., Tantsyrev N., Li G. Regeneration of *Pinus sibirica* Du Tour in the Mountain Tundra of the Northern Urals against the Background of Climate Warming // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13. P. 1196. <https://doi.org/10.3390/atmos13081196>

29. Lanner R. M. Made for each other. A symbiosis of birds and pines. New York : Oxford : Oxford University Press, 1996, 160 p.

30. Li, H., Kawada, K., Ohashi, H., Jamsran, U., Hu, X., Tamura, K., Kamijo, T. Regeneration of *Larix sibirica* boreal forest patches in the forest-steppe ecotone in Gorkhi Terelj National Park, Mongolia // *Journal of Forest Research*. 2019. No 24(1). P. 52–60. <https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1557101>

31. Schulze, E. D., Wirth, C., Mollicone, D., Ziegler, W. Succession after stand replacing disturbances by fire, wind throw, and insects in the dark Taiga of Central Siberia // *Oecologia*. 2005. 146(1). P. 77–88. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0173-6>

32. Vacek S., Cerny T., Vacek Z., Podrazsky V., Mikeska M., Kralicek I. Long-term changes in vegetation and site conditions in beech and spruce forests of lower mountain ranges of Central Europe // *Forest Ecology & Management*. 2017. Vol. 398. P. 75–90.

© Танцырев Н. В., Андреев Г. В., 2025

Поступила в редакцию 03.03.2025

Принята к печати 02.12.2025

АВТОРСКАЯ ССЫЛКА

- Авдеева Е. В.** Особенности роста древесных растений на объектах озеленения города Красноярска, с. 80–87
- Акиннина Е. В.**, см. Елисеев С. Г.
- Алексеев К. В.**, см. Исаев А. П.
- Андреев Г. В.**, см. Танцырев Н. В.
- Байрамов Г. З.** Исследование влияния метеорологических факторов на верность предсказания и возникновения лесных пожаров, с. 64–67
- Беляева Е. А.**, см. Генрих Э. А.
- Бессчетнов В. П.**, см. Бессчетнова Н. Н.
- Бессчетнова Н. Н.** Создание лесных культур сосны сеянцами с закрытой и открытой корневой системой в правобережье Нижегородского Поволжья, с. 21–31
- Борисов Д. С.**, см. Генрих Э. А.
- Брюханов И. И.** Проблематика возобновления кедровников в горах Южной Сибири, прогнозирование плодоношения, с. 68–73
- Габышева Л. П.**, см. Исаев А. П.
- Генрих Э. А.** Полиморфизм ели европейской и ели сибирской в условиях субарктики, с. 7–14
- Демиденко Г. А.** Сравнительная характеристика и использование в ландшафтном дизайне кедровых сосен (сибирской и корейской), с. 15–20
- Евдокимова Л. С.** Оценка состояния древостоев *Pinus sylvestris* L. в рекреационных лесах правобережья лесопаркового зеленого пояса города Красноярска, с. 58–63
- Егорова Н. Ю.** Популяционно-демографическая характеристика *Vaccinium myrtillus* L. в различных типах бореальных лесов таежной зоны Кировской области, с. 41–46
- Елисеев С. Г.** Товарная оценка сухостойной древесины пихты сибирской (*Abies Sibirica* ledeb.) в древостоях, погибших от воздействия сибирского шелкопряда (*Dendrolimus Sibiricus*) и уссурийского полиграфа (*Polygraphus Proximus*), с. 88–95
- Залывская О. С.**, см. Генрих Э. А.
- Зленко Л. В.**, см. Евдокимова Л. С.
- Исаев А. П.** Общая схема экзогенных сукцессий сосновых лесов Центральноякутской низменности (Восточная Сибирь), с. 32–40
- Казитин С. Н.**, см. Елисеев С. Г.
- Меншиков С. Л.** Самозаращение сосной обыкновенной рекультивированной территории золоотвала, с. 74–79
- Метелкин Н. А.**, см. Бессчетнова Н. Н.
- Мохначев П. Е.**, см. Меншиков С. Л.
- Неклюдов И. А.**, см. Меншиков С. Л.
- Никончук А. В.**, см. Авдеева Е. В.
- Плюха Н. И.** Оценка средневзвешенных квалитетических показателей ствола по их значениям на высоте груди в естественных сосняках и культурах, с. 47–57
- Слепцов А. А.**, см. Исаев А. П.
- Танцырев Н. В.** Структура и динамика развития послепожарного низкогорного кедровника без смены формаций, с. 96–103
- Татаринцев А. И.**, см. Евдокимова Л. С.
- Усольцев В. А.**, см. Плюха Н. И.
- Цыганкова Н. В.**, см. Авдеева Е. В.
- Часовских В. П.**, см. Плюха Н. И.
- Шайфлер И. А.**, см. Бессчетнова Н. Н.
- Шишкин А. С.**, см. Брюханов И. И.

AUTHOR'S LINK

- Akinina E. V.**, see Eliseev S. G.
- Alekseev K. V.**, see Isaev A. P.
- Andreev G. V.**, see Tantsyrev N. V.
- Avdeeva E. V.** Growth characteristics of woody plants in landscaping sites in Krasnoyarsk, p. 80–87
- Bayramov H. Z.** Study of the influence of meteorological factors on the accuracy of prediction and the origin of forest fires, p. 64–67
- Belyaeva E. A.**, see Genrikh E. A.
- Besschetnov V. P.**, see Besschetnova N. N.
- Besschetnova N. N.** Creation of pine forest crops by seedlings with closed and open root systems in the right bank of the Nizhny Novgorod Volga region, p. 21–31
- Borisov D. S.**, see Genrikh E. A.
- Bryukhanov I. I.** Problems of cedar forest regeneration in the mountains of Southern Siberia, fruiting forecasting, p. 68–73
- Chasovskikh V. P.**, see Plyukha N. I.
- Demidenko G. A.** Comparative characteristics and use of cedar pine (siberian and korean) in landscape design, p. 15–20
- Egorova N. Yu.** Population and demographic characteristics of *Vaccinium Myrtillus* L. in various types of boreal forests of the taiga zone of Kirov oblast, p. 41–46
- Eliseev S. G.** Commodity evaluation of dead siberian fir wood (*Abies Sibirica* ledeb.) in stands that died from exposure to the siberian silkworm (*Dendrolimus Sibiricus*) and the four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus Proximus blandford*), p. 88–95
- Evdokimova L. S.** Assessment of the state of stands of *Pinus Sylvestris* L. in the recreational forests of the right bank of the forest park green belt of Krasnoyarsk, p. 58–63
- Gabysheva L. P.**, see Isaev A. P.
- Genrikh E. A.** Polymorphism european spruce of and siberian spruce in subarctic conditions, p. 7–14
- Isaev A. P.** General scheme of exogenous successions of pine forests in Centrallyakutian Lowland (Eastern Siberia), p. 32–40
- Kazitsin S. N.**, see Eliseev S. G.
- Menshchikov S. L.** Self-overgrowing with common pine on the recultivated ash dump area, p. 74–79
- Metelkin N. A.**, see Besschetnova N. N.
- Mokhnachev P. E.**, see Menshchikov S. L.
- Neklyudov I. A.**, see Menshchikov S. L.
- Plyukha N. I.** Estimating the average-weighted qualimetric features of the stem by their values at breast height in natural and artificial *Pinus sylvestris*, p. 47–57
- Scheifler I. A.**, see Besschetnova N. N.
- Shishikin A. S.**, see Bryukhanov I. I.
- Sleptsov A. A.**, see Isaev A. P.
- Tantsyrev N. V.** Structure and dynamics of development of post-fire low-mountain siberian stone pine forest without change of formations p. 96–103
- Tatarintsev A. I.**, see Evdokimova L. S.
- Tsygankova N. V.**, see Avdeeva E. V.
- Usoltsev V. A.**, see Plyukha N. I.
- Zalivskaya O. S.**, see Genrikh E. A.
- Zlenko L. V.**, see Evdokimova L. S.

